بخش چهارم

حفاری

فصل دهم

حفر تونل

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :
۱ــ عملیات مقدماتی حفر تونل را شناسایی کند.
۲ــ اصول حفر تونل‌های مختلف بوسیله مواد منفجره را بیاموزد.
۳ــ انواع برش‌ها را شناسایی کند.
۴ــ حفر تونل بالارو (دویل) را شناسایی کند.
۵ ــ حفر تونل مورب را شرح دهد.

۱ــ۱۰ــ آشنایی

تونل‌های مختلف را معمولاً به‌وسیله مواد منفجره حفر می‌کنند. برای این‌کار تعدادی چال در جبهه کار حفر و آنها را منفجر می‌کنند. انفجار مواد منفجره سبب تخریب سنگ‌ها و پیشروی تونل می‌شود.

تعداد چال‌ها، عمق، نحوه خرج‌گذاری و زاویه تمایل آنها در هر مورد متفاوت است و نقشه‌ای که حاوی تمام این اطلاعات باشد، «نقشه انفجار» نامیده می‌شود.

از آنجا که محل دهانه تونل، شکل مقطع و ابعاد آن قبل از حفر تونل باید مشخص شود، ابتدا به شرح مختصر آن می‌پردازیم و آنگاه روش‌های حفر انواع مختلف تونل‌ها را بررسی می‌کنیم. باید توجه داشت که در ضمن حفر تونل‌های مختلف، سایر عملیات معدنی از جمله نگهداری، باربری، تهویه و نظایر آن را نیز باید انجام داد که این امور در فصل‌های مربوطه بررسی خواهند شد.

۲ــ۱۰ــ انتخاب محل تونل

انتخاب محل تونل‌ها یکی از مسائل مهم معدنکاری است و باید با دقت تمام و با توجه به تمام نکات انجام گیرد. با توجه به اینکه تونل برای چه نوع هدفی حفر می‌شود، انتخاب محل آن تابع عوامل

مختلفی خواهد بود. مثلاً اگر تونل به عنوان تونل اصلی باربری احداث می‌شود، باید حتی‌المقدور در پایین‌ترین ارتفاع ممکن باشد تا بتوان مقدار زیادتری ماده معدنی و مواد باطله را از طریق آن خارج کرد. همچنین اگر تقسیم طبقات با ارتفاع زیاد، به نیم طبقه موردنظر باشد، در این‌حالت، تونل باید درارتفاع خاصی انتخاب شود و در این گونه موارد، تنها می‌توان آن‌را در سطح افقی تا حدودی جابجا کرد.

از جمله عوامل مهمی که در انتخاب محل دهانه تونل مؤثر است، توجه به این مطلب است که در اطراف آن فضای کافی برای احداث ساختمان‌ها و تأسیسات مربوط به تونل در دست باشد تا بتوان بدون صرف مخارج زیاد، این گونه تأسیسات را بنا کرد.

دهانه تونل باید در نقطه‌ای انتخاب شود که از دسترس آب باران و سیلاب‌ها به دور باشد و به عبارت دیگر به آسانی بتوان این آب‌ها را زه‌کشی و از محوطه تونل دور کرد.

از جمله نکات دیگری که باید در انتخاب محل تونل مورد توجه قرار گیرد، بودن فضای کافی برای ریختن مواد زائد است. به عبارت دیگر تونل باید در محلی احداث گردد که سنگ‌های زائدی را که در نتیجه حفر آن حاصل می‌شود، بتوان به آسانی از درون واگن‌های معدنی به بیرون تخلیه کرد. بدیهی است لازمه تأمین این شرایط، وجود اختلاف ارتفاع لازم بین دهانه تونل و زمین‌های اطراف است. در مواردی که تونل به قصد اکتشاف ماده معدنی حفر می‌شود، طبیعتاً دهانه آن‌را باید در محلی انتخاب کرد که پس از حفر، در نقطه موردنظر به ماده معدنی برخورد کند و اطلاعات لازم در مورد ماده معدنی را بتوان از طریق آن به‌دست آورد.

در هر صورت، انتخاب محل تونل از جمله مسائل مربوط به طراحی معدن است و با توجه به مخارج زیادی که حفر این کار معدنی در بردارد، باید تمام نکات یاد شده را هنگام انتخاب آن در نظر داشت.

۳ــ۱۰ــ انتخاب شکل و ابعاد مقطع تونل

۱ــ۳ــ۱۰ــ انتخاب شکل مقطع : مهم‌ترین عواملی که در انتخاب شکل مقطع تونل مؤثر است، خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های ناحیه، فشارهای خارجی مؤثر بر تونل، جهت فشارهای وارده، مدت زمان بهره‌برداری از تونل و مصالحی که برای نگهداری تونل به‌کار می‌رود می‌باشد. بدیهی است انتخاب وسایل نگهداری، خود به عوامل یاد شده بستگی دارد که در فصل مربوطه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

از جمله مهم‌ترین خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها، که در انتخاب مقطع تونل مؤثر است، می‌توان سختی، سفتی، مقاومت، پایداری و درزه‌های سنگ را نام برد.

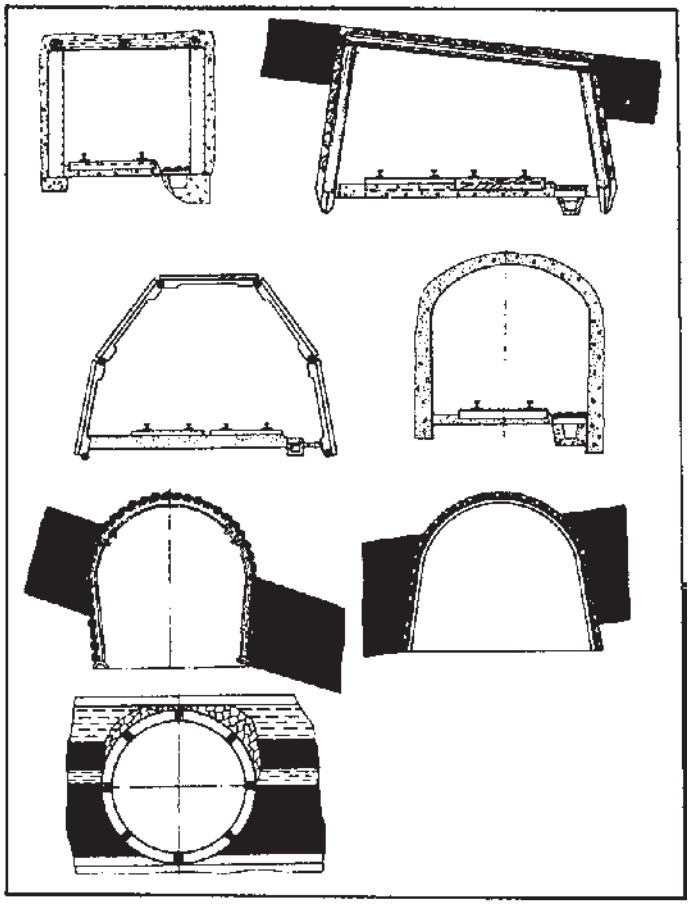
نحوه توزیع فشارهای مؤثر بر تونل به عواملی نظیر نوع وسایل نگهداری، وزن طبقات رویی و ضریب اصطکاک داخلی سنگ‌ها بستگی دارد.

براساس این مشخصات و نیز مدت زمان استفاده از تونل، مصالح مختلفی برای نگهداری آن به کار می‌رود که معمولی‌ترین آنها، چوب، قاب‌های فلزی، سنگ‌های طبیعی، بتن و بتن پیش‌ساخته است.

شکل عمومی مقطع تونل‌های مختلف مستطیل، ذوزنقه، چند ضلعی، گنبدی، هلالی، طاقی و دایره است.

علاوه بر این اشکال، در موارد خاص ممکن است از شکل‌های دیگر نیز استفاده شود.

۲ــ۳ــ۱۰ــ انتخاب ابعاد مقطع : انتخاب ابعاد مقطع به عواملی نظیر نحوه باربری، وسایل نگهداری، لوازم و وسایل معدنی، میزان هوای لازم جهت تهویه و مسائلی نظیر آن بستگی دارد.



شکل ۱ــ۱۰ــ اشکال مختلف مقاطع تونل‌ها (۱۵)

به‌طوری‌که خواهیم دید، در هر تونل در حالت کلی لوازم و وسایل زیر وجود دارد :

ــ یک یا دو خط ریل برای عبور لکوموتیو و واگن‌ها

ــ لوله تهویه برای تهویه فرعی

ــ لوله انتقال هوای فشرده

ــ جوی آب برای هدایت آب‌های تونل به خارج

ــ کابل‌های الکتریکی

ــ لوله آب آتش‌نشانی

بدین ترتیب ابعاد تونل باید به نحوی انتخاب شود که علاوه بر امکان تعبیه این لوازم، فضای کافی برای عبور افراد پیاده نیز موجود باشد.

باید توجه داشت که مقطع مفید تونل، یعنی مقطع آن پس از نصب وسایل نگهداری، گنجایش نصب لوازم یاد شده را داشته باشد و بدین ترتیب مقطع حفر تونل باید بیش از این مقدار در نظر گرفته شود.

بعد از اینکه مقطع تونل از نظر نصب وسایل و فضاهای لازم وارسی شد، باید آن‌را از لحاظ عبور میزان هوا نیز بررسی کرد. برای این‌کار ابتدا میزان هوایی را که باید از تونل عبور کند محاسبه سپس با در نظر گرفتن حداکثر سرعت مجاز هوا در تونل که میزان آن ۴ تا ۸ متر در ثانیه است، سطح مقطع تونل را محاسبه می‌کنند. در صورتی که از این نظر نیز مقطع تونل کافی باشد، مقطع انتخاب شده از هر لحاظ مناسب خواهد بود.

۴ــ۱۰ــ عملیات مقدماتی جهت حفر تونل

بعد از اینکه محل تونل انتخاب و تسطیح گردید، باید بعضی تأسیسات را در محوطه آن احداث تا بتوان عملیات حفر را شروع کرد. این تأسیسات عبارتند از :

۱ــ۴ــ۱۰ــ تأمین هوای فشرده : اغلب دستگاه‌های حفاری با هوای فشرده کار می‌کنند و بدین ترتیب برای تغذیه این وسایل، باید هوای فشرده را تأمین کرد.

برای تأمین هوای فشرده می‌توان مستقلاً برای تونل کمپرسور تهیه و از آن استفاده کرد. در مواردی که معدن دارای مرکز هوای فشرده باشد، ممکن است هوای فشرده لازم را به‌وسیلهٔ لوله‌های مخصوص به محل تونل منتقل کرد.

۲ــ۴ــ۱۰ــ تأمین برق : برای تأمین روشنایی محوطه جلوی تونل، شارژ چراغ‌ها، گردش بادبزن‌ها و مسائلی نظیر آن، به نیروی برق احتیاج است. برای تأمین برق نیز می‌توان در محل تونل مولد

برق مخصوص نصب یا آن‌را از مرکز برق به محل منتقل کرد.

۳ــ۴ــ۱۰ــ انبار: برای نگهداری وسایل مورد لزوم، وجود حداقل یک انبار در محل تونل ضروری است.

۴ــ۴ــ۱۰ــ چراغخانه : در مواردی که از چراغ‌های الکتریکی استفاده می‌شود باید بعد از هر ۸ ساعت کار آنها را شارژ کرد و بنابراین در محوطه تونل باید چراغخانه‌ای احداث شود. در مواردی که فاصله تونل از مرکز کارهای معدنی زیاد نباشد، ممکن است از چراغخانه مرکزی برای این منظور استفاده نمود.

۵ ــ۴ــ۱۰ــ انباردستی مواد ناریه :برای نگهداری روزانه مواد منفجره باید در محل تونل یک انبار کوچک‌دستی احداث شود. انبار دستی را معمولاً داخل کوه حفر می‌کنند.

بدیهی است در این انبار باید فقط به اندازه مصرف روزانه، مواد منفجره نگهداری کرد.

بعد از احداث تأسیسات یاد شده باید امتداد تونل را روی زمین مشخص کرد. امتداد تونل با توجه به عوامل مختلف و هدفی که از حفر تونل در نظر است تعیین و به‌وسیله نقشه‌بردار در محل پیاده می‌شود. برای اینکه بتوان امتداد تونل را ضمن حفر کنترل کرد، حداقل دو نقطه نشانه نقشه‌برداری[۱] باید در جلو تونل احداث کرد. برای اینکه وضعیت این نقاط تغییر نکند، آنها را با استفاده از بتن در محل ثابت می‌کنند.

مطالعهٔ آزاد

۵ ــ۱۰ــ برنامه‌ریزی برای حفر تونل‌های مختلف

بطورکلی عملیات حفر تونل‌های مختلف را می‌توان به دو گروه کلی، عملیات اساسی و عملیّات فرعی، تقسیم کرد. عملیّات اساسی شامل حفر سنگ‌ها، بارگیری، باربری، تهویه و نگهداری جبهه کار است و از جمله عملیات فرعی می‌توان کارهایی نظیر ریل‌گذاری، نصب لوله هوای فشرده، نصب لوله آب، نصب کابل‌های مربوطه و نصب لوله‌های تهویه فرعی را نام برد.

کلیه عملیات یاد شده اعم از اساسی و فرعی که شامل عملیات حفر چال، خرج‌گذاری، آتشکاری، تهویه، باربری و نصب وسایل نگهداری است، به فاصله زمانی خاصی همواره تکرار می‌شوند. به مجموعهٔ این عملیات که در طی زمان مشخص منجر

۱ــ Bench Mark

به پیشروی طول معینی از تونل می‌شود. یک دوره[1] اطلاق می‌کنند و زمان لازم برای انجام عملیات مربوط به یک دوره را «زمان یک دوره» می‌نامند.

معمولاً حفر تونل‌ها در تمام مدت ۲۴ ساعت ادامه دارد و بدین ترتیب، شبانه‌روز را به سه قسمت ۸ ساعته، که به نام یک شیفت کار موسوم است، تقسیم می‌کنند. بدیهی است هر یک از این شیفت‌ها توسط گروهی خاص از کارکنان معدن انجام می‌گیرد و معمولاً در پایان هر هفته، وضعیت کاری کارکنان هر شیفت تغییر می‌کند یعنی در پایان هفته، گروه‌هایی که در هفته قبل صبح کار، عصر کار و شب کار بودند به ترتیب به عصر کار، شب کار و صبح کار تبدیل می‌شوند و این وضعیت در پایان هر هفته به همین ترتیب تعویض می‌شود.

قبل از شروع عملیات حفر باید زمان لازم برای انجام عملیات مختلف یاد شده را تعیین و آن‌را روی نمودار خاصی که نمایشگر این عملیات است، رسم کرد. بدیهی است این نمودار مربوط به وضعیت عادی کار است و در موارد خاص (مثلاً مواردی که تونل به شکستگی برخورد کند یا میزان آب زیرزمینی محل زیاد شود) این نمودار صادق نخواهد بود. با توجه به وضعیت تونل، مشخصات سنگ‌ها و لوازم موجود، در هر شیفت کار ممکن است یک یا چند دوره عملیات انجام گیرد. پیشروی هر دوره، شیفت و روز باید در دفاتر خاصی ثبت و در پایان هر ماه میزان پیشروی انجام شده توسط هر یک از سه گروه کارکنان مشخص و اعلام شود.

برای رعایت اصول ایمنی، لازم است که کارکنان هر شیفت در محل جبهه کار، تونل را تحویل گیرند و کار را شروع کنند تا در صورت وجود شرایط خاص در جبهه کار، از آن مطلع گردند.

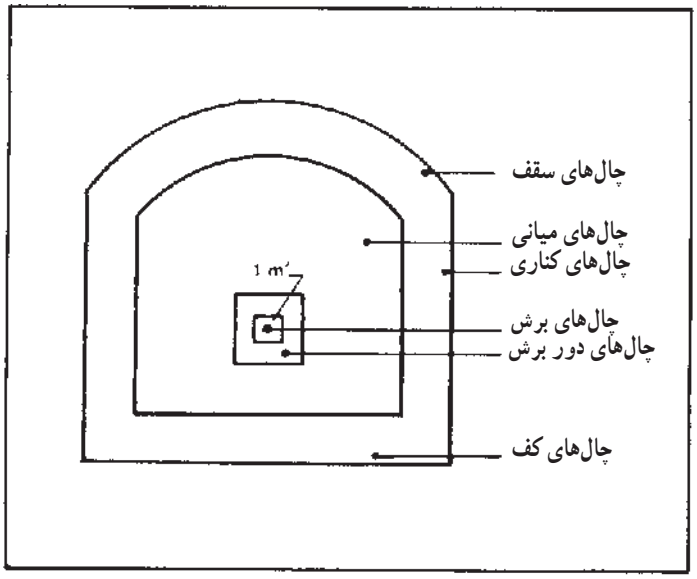
۶ــ۱۰ــ اصول حفر تونل‌های مختلف به وسیله مواد منفجره

برای اینکه راندمان حفر تونل‌های مختلف را بالا ببرند، در قسمت‌های میانی جبهه کار تعدادی چال نزدیک به هم و با زوایای تمایل مخصوص حفر می‌کنند و نقشه انفجار را طوری در نظر می‌گیرند که ابتدا این چال‌ها منفجر شود و یک جبهه آزاد برای سایر چال‌ها فراهم سازد.

مجموعه این قبیل چال‌ها به نام «برش[2]» نامیده می‌شود. بدیهی است در هر جبهه کار، علاوه بر

۱ــ Cycle ۲ــ Cut

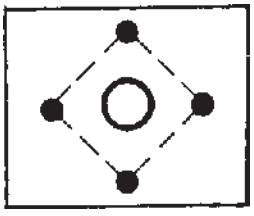
چال‌های برش، چال‌های متعدد دیگری نیز حفر می‌شود که به مجموعهٔ آنها چال‌های لازم برای یک نوبت آتشکاری می‌گویند (شکل ۲ــ۱۰).



شکل ۲ــ۱۰ــ چال‌های مختلف در یک جبهه کار (۱۱)

برش‌ها انواع مختلف دارند که به شرح آنها می‌پردازیم :

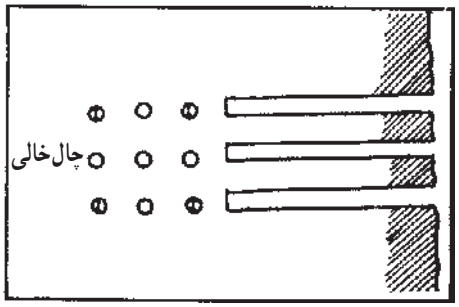
۱ــ۶ ــ۱۰ــ برش موازی[1]: بطوری‌که از اسم این برش پیداست، تمام چال‌های برش، موازی یکدیگر و عمود بر سطح جبهه کار می‌باشند و در وسط آنها چال بزرگی وجود دارد که در آن خرج‌گذاری نمی‌کنند (شکل ۳ــ۱۰).



شکل ۳ــ۱۰ــ برش موازی (۱۱)

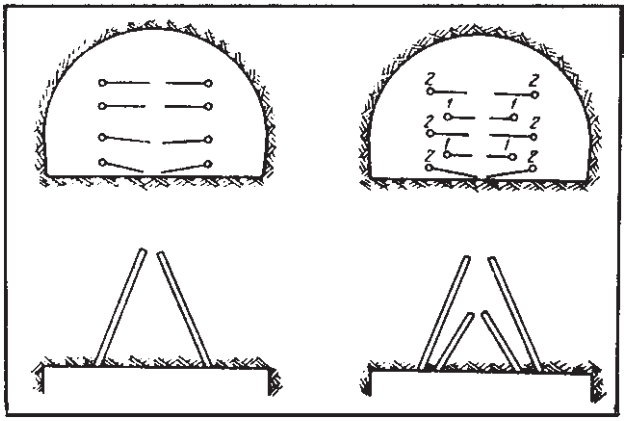
۱ــ Parallel cut

گاهی نیز به جای حفر یک چال بزرگ، چند چال معمولی را در وسط برش حفر می‌کنند و آنها را خالی می‌گذارند (شکل ۴ــ۱۰).



شکل ۴ــ۱۰ــ برش موازی با چندین چال خالی (۱۳)

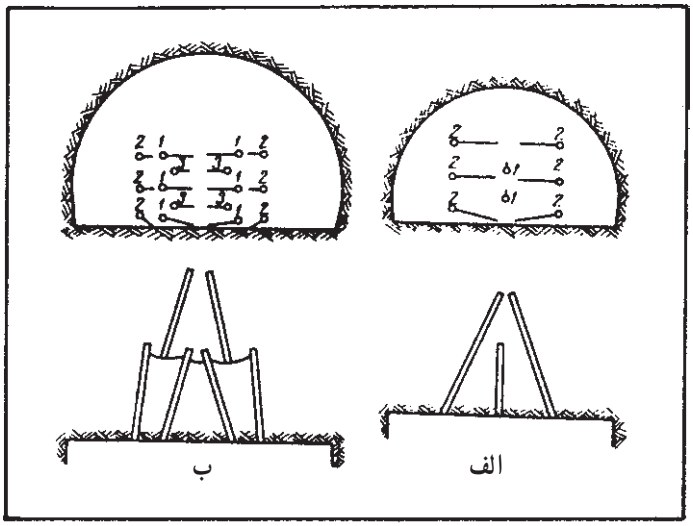
۲ــ۶ ــ۱۰ــ برش گوه‌ای[1]: این برش از جمله معمولی‌ترین برش‌ها است و برای حفر سنگ‌های محکم و متوسط به‌کار می‌رود. این برش حاوی چند ردیف چال است که هر زوج آنها امتداد متفاوتی دارند (شکل ۵ ــ۱۰).



شکل ۵ ــ۱۰ــ برش گوه‌ای (۸)

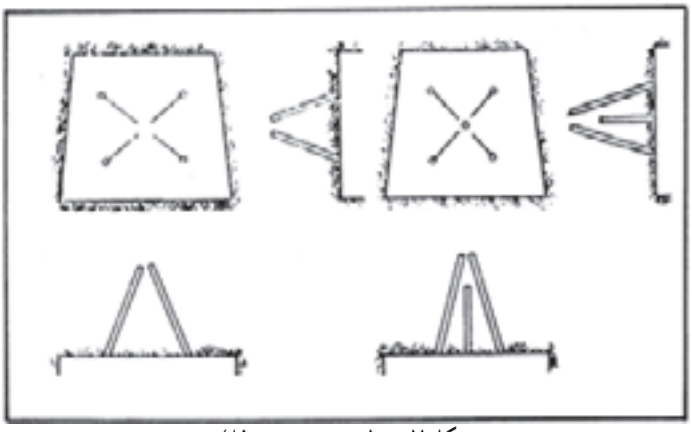
۱ــ Wedge - shaped cut

در برش‌های گوه‌ای نیز گاهی تعدادی چال در وسط حفر می‌کنند و آنها را خالی می‌گذارند (شکل۶ ــ ۱۰ــ الف). در بعضی موارد نیز برش را در دو مرحله حفر می‌کنند (شکل ۶ ــ ۱۰ــ ب).



شکل ۶ ــ ۱۰ــ برش گوه‌ای (۸)

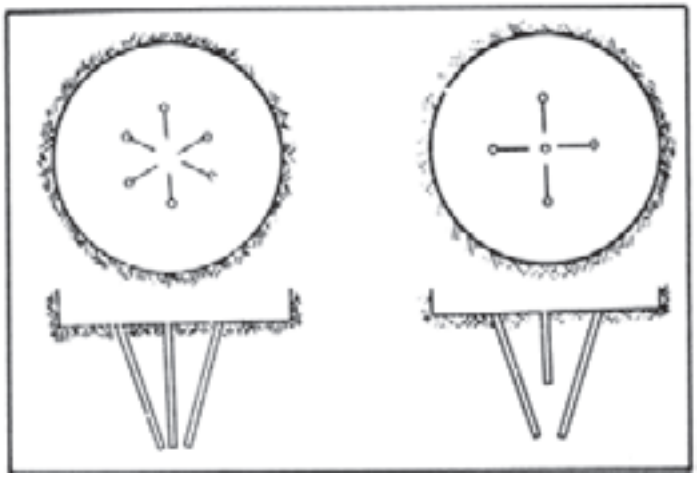
۳ــ۶ ــ ۱۰ــ برش هرمی[1]: این برش دارای چهار یا شش چال است که در یک نقطه متقارب‌اند (شکل ۷ــ۱۰). برش هرمی برای حفاری در سنگ‌های فوق‌العاده سخت به‌کار می‌رود. در بعضی موارد، علاوه بر چال‌های هرمی، در وسط برش نیز یک چال عمود بر سطح جبهه کار حفر می‌کنند.



شکل ۷ــ ۱۰ــ برش هرمی (۸)

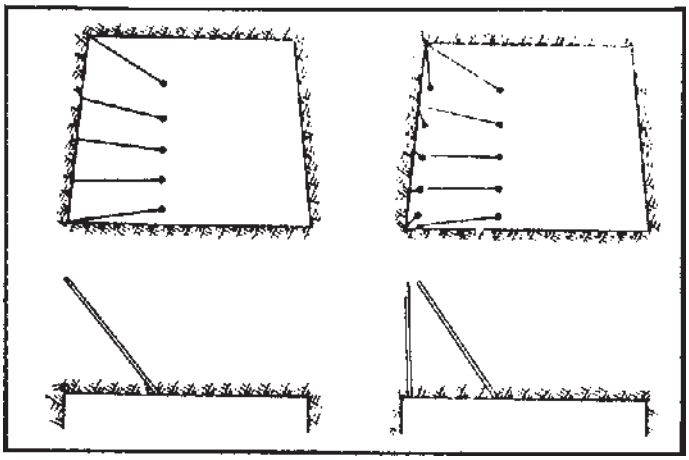
۱ــ Pyramidal cut

۴ــ۶ــ۱۰ــ برش قیفی[1]: در این برش، چندین چال در امتداد سطح خارجی یک مخروط به طریقی حفر می‌شوند که امتداد تمام آنها در وسط جبهه کار متقارب باشند شکل ۸ــ۱۰ این نوع برش برای حفر سنگ‌های سخت، به خصوص برای حفر چال‌های قائم به کار می‌رود. در مرکز این برش نیز گاهی یک چال عمودی حفر می‌شود.



شکل ۸ــ۱۰ــ برش قیفی (۸)

۵ــ۶ــ۱۰ــ برش کناری[2]: در این برش در یک گوشه از جبهه کار تعدادی چال تحت زاویه تمایل معین حفر می‌شود (شکل ۹ــ۱۰). این برش برای حفر تونل‌هایی که یک قسمت از آنها در سنگ سخت و قسمت دیگر در مواد نرم‌تر قرار دارد، مناسب است.

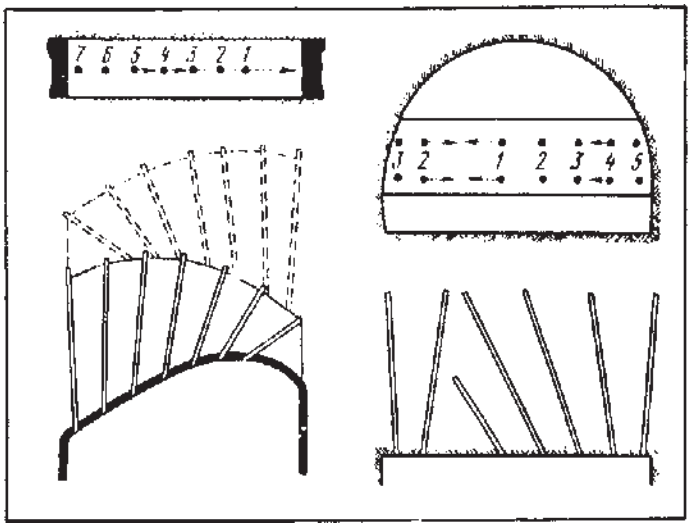


شکل ۹ــ۱۰ــ برش کناری (۸)

۱ــ Funnel - shaped cut

۲ــ Side cut

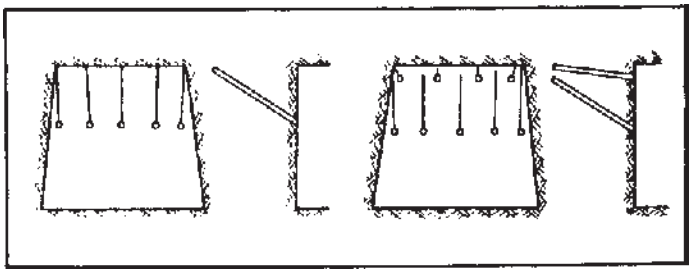
۶ــ۶ــ۱۰ــ برش بادبزنی[1]: این برش، مشابه برش کناری است و در مواردی که در مرکز جبهه کار یک لایه یا رگه افقی از ماده معدنی نرم (مثل زغال) موجود باشد، به کار می‌رود (شکل ۱۰ــ۱۰). مطابق شکل، در این برش، چال‌ها به گونه‌ای هستند که تمام آنها از یک نقطه دور می‌شوند.



شکل ۱۰ــ۱۰ــ برش بادبزنی (۸)

۷ــ۶ــ۱۰ــ برش بالایی[2]: در این برش، تعدادی چال در قسمت بالایی جبهه کار به طریقی حفر می‌شوند که تمایل آنها به سمت سقف تونل باشد (شکل ۱۱ــ۱۰).

برش بالایی برای حفر تونل در سنگ‌های چینه‌ای نرم تا متوسط مناسب است و بخصوص در مورد تونل‌های با ابعاد بزرگ، راندمان آن زیاد است.

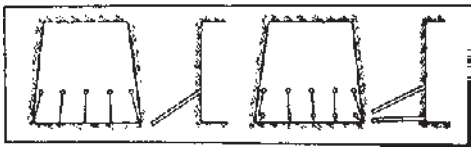


شکل ۱۱ــ۱۰ــ برش بالایی (۸)

۱ــ Fan cut

۲ــ Top cut

۸ــ۶ــ۱۰ــ برش پایینی[1]: در این برش، تعدادی چال در پایین جبهه کار با زاویه تمایل به سمت پایین، حفر می‌شود (شکل ۱۲ــ۱۰).



شکل ۱۲ــ۱۰ــ برش پایینی (۸)

۷ــ۱۰ــ حفر تونل‌های کوچک و متوسط در سنگ

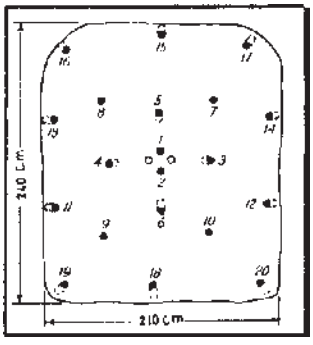
۱ــ۷ــ۱۰ــ آشنایی: تونل‌های کوچک و متوسط از جمله معمولی‌ترین تونل‌های معادن ایران است. تونل‌های کوچک که مقطع متوسط آنها ۳ تا ۴ مترمربع است، به‌عنوان تونل اکتشافی، میان‌بر و موارد مشابه آن حفر می‌شود.

مقطع مفید تونل‌های متوسط در ایران ۵ تا ۶ مترمربع است و به عنوان تونل‌های باربری، عبور افراد و احداث طبقه‌های معدن از آنها استفاده می‌شود. بدیهی است در هر مورد مقطع حفاری تونل‌ها را باید به نحوی انتخاب کرد که پس از نصب وسایل نگهداری، مقطع موردنظر باقی بماند.

۲ــ۷ــ۱۰ــ نقشه انفجار: نقشه انفجار این تونل‌ها بستگی به ابعاد تونل، مقاومت سنگ‌های اطراف، ضخامت لول‌های مواد منفجره، قدرت مواد منفجره و مسائلی نظیر آنها دارد.

وضعیت قرار گرفتن چال‌ها، امتداد، طول و ترتیب انفجار آنها باید به نحوی انتخاب شود که انفجار هر گروه از چال‌ها، باعث ایجاد یک فضای آزاد برای چال‌های بعدی شود و بدین ترتیب راندمان حفاری افزایش یابد.

در شکل ۱۳ــ۱۰ یک نمونه کلی از نقشه انفجار تونل‌ها نشان داده شده است. در این قبیل نقشه‌ها، علاوه بر موقعیت چال‌ها، امتداد حفر و نیز شماره چاشنی آنها نیز نشان داده می‌شود. مثلاً در شکل ۱۳ــ۱۰، شماره‌های نوشته شده در محل چال‌ها، شماره چاشنی آن‌را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌ها (۱)

۱ــ Bottom cut

۳ــ۷ــ۱۰ــ حفر چال : حفر چال در تونل‌های متوسط، معمولاً به کمک چال‌زن‌های دستی انجام می‌گیرد زیرا مقطع نسبتاً کوچک آنها اجازه استفاده از ماشین‌های چال‌زنی را نمی‌دهد.

بنابراین، برای بالا بردن سرعت حفر چال می‌توان پایه‌های مختلف را به کار برد و در مواردی که مقطع تونل اجازه دهد، از ماشین‌های حفر چال کوچک استفاده کرد.

۴ــ۷ــ۱۰ــ آتشکاری : برای آتشکاری در تونل‌های معادن غیر زغالی، می‌توان از آتشکاری با فتیله اطمینان یا آتشکاری الکتریکی استفاده کرد. در ایران معمولاً در این تونل‌ها از فتیله اطمینان استفاده می‌شود.

در معادن زغال، آتشکاری باید حتماً به روش الکتریکی انجام گیرد و در صورتی‌که در تونل میزان قابل توجهی گاز و گرد زغال موجود باشد، از مواد منفجره مخصوص این قبیل معادن استفاده شود.

برای اینکه ضمن آتشکاری به وسایل نگهداری خسارت وارد نشود، حتی‌المقدور چال‌های برش را در قسمت پایین تونل حفر می‌کنند.

از جمله مسائل مهم آتشکاری تونل‌ها، محاسبه مصرف ویژه مواد آتش‌زا، یعنی میزان مواد منفجره مصرف شده به ازای واحد حجم سنگ‌های حفر شده است. بدیهی است هر چقدر این مصرف کمتر باشد، نشانه بهره‌دهی بهتر مواد آتش‌زا خواهد بود.

۵ ــ۷ــ۱۰ــ نمونه‌هایی از نقشه‌های آتشکاری تونل‌های کوچک و متوسط : برای آشنایی با نحوه حفر و انتخاب تعداد و موقعیت چال‌ها در تونل‌های کوچک و متوسط، نقشه انفجار چند تونل مختلف طی شکل‌های ۱۴ــ۱۰ تا ۱۸ــ۱۰ نشان داده شده است در این نقشه‌ها حروف به‌کار رفته به نشانه زیر است :

d = قطر چال‌های پر شده　　q = مصرف ویژه

φ = قطر چال‌های خالی مانده

N = تعداد چال‌ها

l_b = مقدار خرج در چال

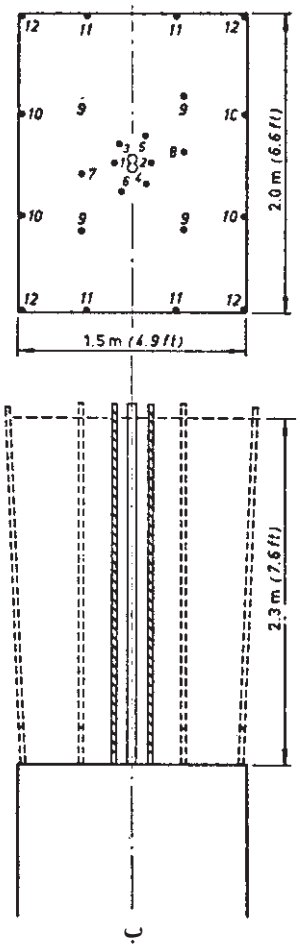
S = سطح مقطع تونل

B = عرض تونل

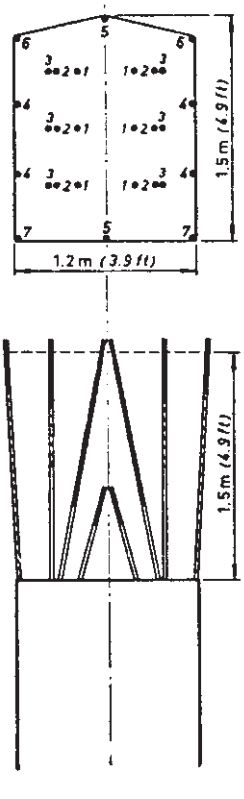
H = عمق چال‌ها

A = میزان پیشروی در هر نوبت آتشکاری

اعداد نشان داده شده در این شکل‌ها نمایشگر ترتیب انفجار چال‌ها است و مربوط به شماره تأخیر آنها نیست.



ب



الف

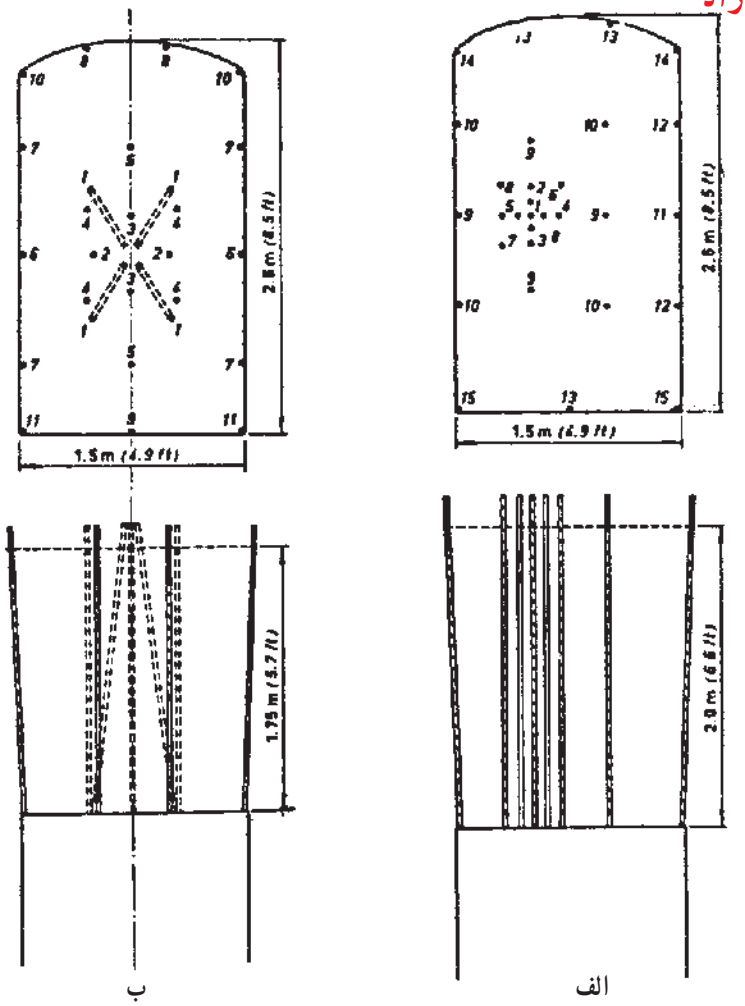
مشخصات نقشه انفجار شکل الف

S = 1.7 m² (18.4 sq.ft)	d = 32 mm (1.25 in)	l_b = 0.15–0.5 kg/m (0.1–0.3 lb/ft)
B = 1.2 m (4 ft)	⌀ = –	q = 5.0 kg/m³ (0.31 lb/cu.ft)
H = 1.6 m (5.3 ft)	N = 28	ordinary delay 1–7
A = 1.5 m (4.9 ft)		

مشخصات نقشه انفجار شکل ب

S = 3 m² (32.5 sq.ft)	d = 31 mm (1.2 in)	l_b = 0.3–0.9 kg/m (0.2–0.6 lb/ft)
B = 1.5 m (4.9 ft)	⌀ = 2 × 57 mm (2 × 2.25 in)	q = 3 kg/m³ (0.18 lb/cu.ft)
H = 2.4 m (7.9 ft)	N = 24 + 2	hole 1–6: short delay 1–6
A = 2.3 m (7.6 ft)		hole 7–12: ordinary delay 2–7

شکل ۱۴ــ۱۰ــ نمونه‌هایی از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)



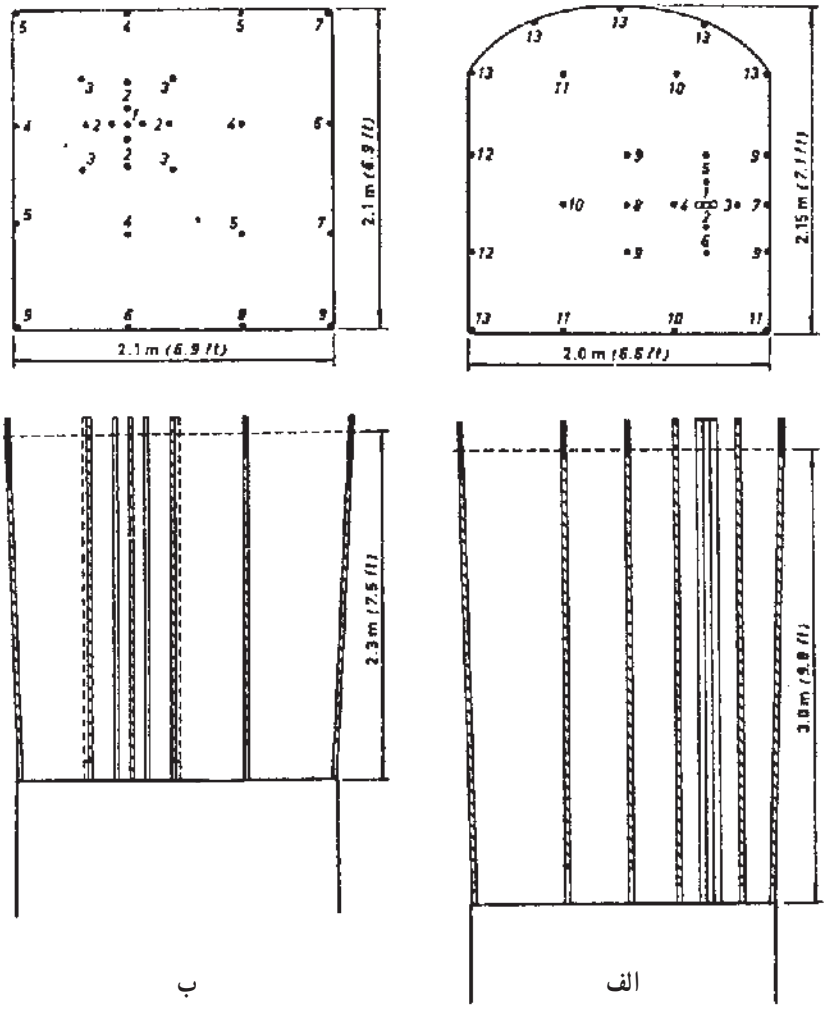
مشخصات نقشه انفجار شکل الف

S = 3.8 m² (41 sq.ft)	d = 32 mm (1.25 in)	l_b = 0.4–0.8 kg/m (0.27–0.53 lb/ft)
B = 1.5 m (4.9 ft)	⌀ = 4 × 32 mm (4 × 1.25 in)	q = 3.3 kg/m³ (0.2 lb/cu.ft)
H = 2.2 m (7.2 ft)	N = 31	hole 1–5: short delay 1–5
A = 2 m (6.6 ft)		hole 6–15: ordinary delay 2–11

مشخصات نقشه انفجار شکل ب

S = 3.8 m² (41 sq.ft)	d = 32 mm (1.25 in)	l_b = 0.3–0.8 kg/m (0.2–0.54 lb/ft)
B = 1.5 (4.9 ft)	⌀ = –	q = 3 kg/m³ (0.18 lb/cu.ft)
H = 1.9 m (6.2 ft)	N = 30	hole 1–11: ordinary delay 1–11
A = 1.75 m (5.7 ft)		

شکل ۱۵ــ۱۰ــ نمونه‌هایی از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)



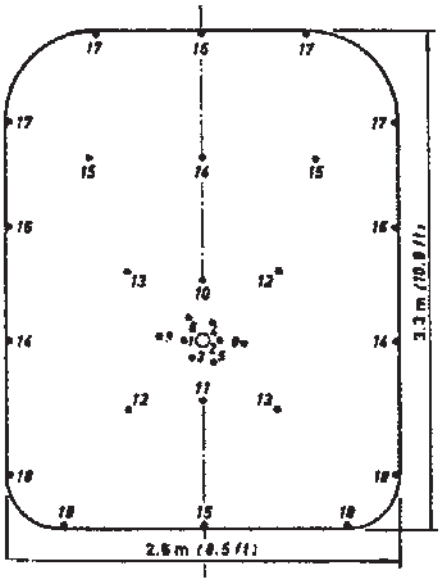
مشخصات نقشه انفجار شکل الف

S = 4.0 m² (43 sq.ft)	d = 32 mm (1.25 in)	l_b = 0.35–0.9 kg/m (0.23–0.6 lb/ft)
B = 2 m (6.6 ft)	⌀ = 3 × 57 mm	q = 3.6 kg/m³ (0.22 lb/cu.ft)
H = 3.2 m (10.5 ft)	(3 × 2.25 in)	hole 1–4: short delay 1–4
A = 3.0 m (9.8 ft)	N = 26 + 3	hole 5–13: ordinary delay 2–9

مشخصات نقشه انفجار شکل ب

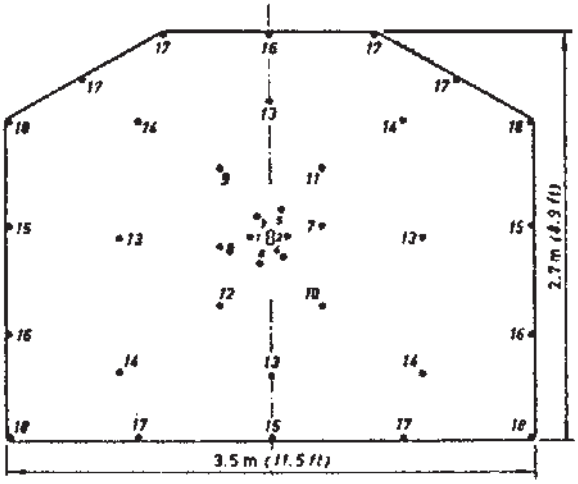
S = 4.4 m² (47 sq.ft)	d = 32 mm (1.25 in)	l_b = 0.4–0.8 kg/m (0.27–0.53 lb/ft)
B = 2.1 m (6.9 ft)	⌀ = 4 × 32 mm	q = 2.9 kg/m³ (0.18 lb/cu.ft)
H = 2.4 m (7.9 ft)	(4 × 1.25 in)	hole 1–9: ordinary delay 1–9
A = 2.3 m (7.6 ft)	N = 24 + 4	

شکل ۱۶ــ۱۰ــ نمونه‌هایی از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)



S = 8.6 m² (93 sq.ft)	d = 31 mm (1.2 in)	l_b = 0.35–1.0 kg/m (0.23–0.67 lb/ft)
B = 2.6 m (8.5 ft)	⌀ = 83 mm (3.25 in)	q = 2.8 kg/m³ (0.18 lb/cu.ft)
H = 3.2 m (10.5 ft)	N = 31 + 1	hole 1–11: short delay 1–11
A = 3.1 m (10.2 ft)		hole 12–17: ordinary delay 3–8

شکل ۱۷ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)



S = 8.8 m² (95 sq.ft)	a = 35 mm (1.4 in)	l_b = 0.35–1.0 kg/m (0.23–0.67 lb/ft)
B = 3.5 m (11.5 ft)	⌀ = 2 × 57 mm	q = 2.3 kg/m³ (0.14 lb/cu.ft)
H = 4.0 m (13.1 ft)	(2 × 2.25 in)	hole 1–8: short delay 1–8
A = 3.8 m (12.5 ft)	N = 36 + 2	hole 9–18: ordinary delay 2–11

شکل ۱۸ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)

۶ــ۷ــ۱۰ــ میزان پیشروی: برای آگاهی از میزان پیشروی تونل‌های متوسط در سنگ، پیشروی بعضی از تونل‌های معدن زغال‌سنگ پابدانا واقع در حوضه زغالی کرمان در طول یک‌ماهه تیر ماه سال ۱۳۵۳، در جدول ۱ــ۱۰ درج شده است.

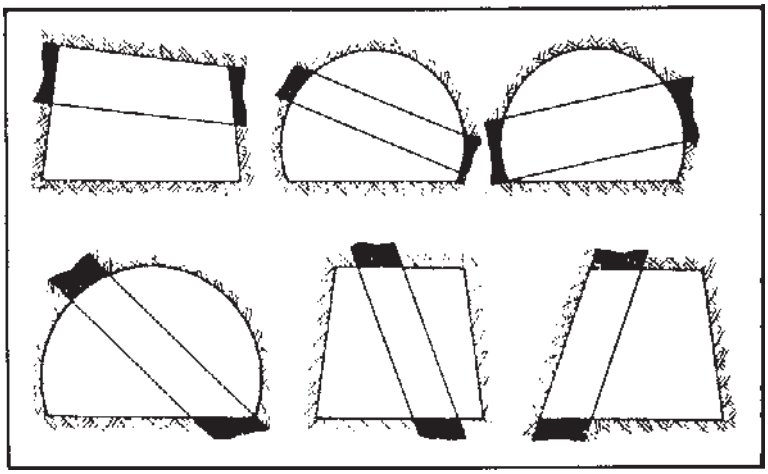
مطالعهٔ آزاد

جدول ۱ــ۱۰ــ میزان پیشروی تونل‌های مختلف معدن زغال‌سنگ پابدانا در تیرماه سال ۱۳۵۳ (۱۶)

شماره تونل	نوع تونل	طول پیشروی متر	حجم متر مکعب	نوع سنگ	مقطع حفاری متر مربع	تعداد چال‌ها	تعداد چاشنی تأخیری ــ فوری	مقطع مفید متر مربع	مصرف دینامیت کیلوگرم	مصرف ویژه گرم بر مترمکعب
۹	عمود بر لایه	۶۹	۴۹۷	ماسه سنگ سنگ آهک سخت	۷/۲	۱۰۰۹	تأخیری ۷۹۷ فوری ۲۱۲	۵/۶	۵۵۸/۱۲۵	۱۱۲۰
۹	عمود بر لایه	۳۷	۲۶۶/۴	شیل ماسه‌دار	۷/۲	۵۵۲	تأخیری ۴۴۶ فوری ۱۰۸	۵/۶	۲۳۸/۲۴۰	۹۰۰
۷	گالری رابط در سنگ	۴	۴۴/۵	آرژیلیت ــ شیل نرم	۱۲/۵	ــ	ــ	۱۰	۲۴۸/ــ	۵۹۰
۷	گالری D_2 بلوک ۶	۲۰/۱	۱۴۴/۷	ماسه سنگ سخت	۷/۲	۷۷۸	تأخیری ۵۲۹ فوری ۱۴۹	۵/۶	۳۵۳/۸۷۵	۲۴۵۰

۸ــ۱۰ــ حفر تونل‌های دنباله‌رو

این تونل‌ها درون لایه یا رگه ماده معدنی حفر می‌شود و با توجه به شیب و ضخامت لایه یا رگه ماده معدنی، یکی از حالات مختلف شکل ۱۹ــ۱۰ را دارا خواهد بود. در مورد تونل‌های دنباله‌رو پایین کارگاه استخراج، موقعیت آن نسبت به لایه را به گونه‌ای در نظر می‌گیرند که لایه در گوشه بالای مقطع تونل قرار گیرد تا تخلیه مواد معدنی حفر شده به درون واگن‌ها، آسان باشد.



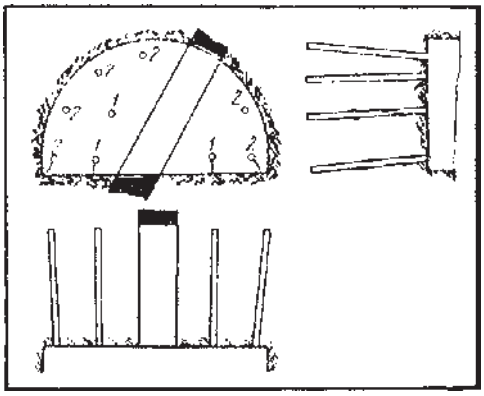
شکل ۱۹ــ۱۰ــ وضعیت‌های مختلف تونل دنباله‌رو نسبت به لایه (۸)

این نوع تونل‌ها برای تقسیم ماده معدنی به چند طبقه و نیز برای بررسی وضعیت ماده معدنی حفر می‌شود. مقطع این تونل‌ها متفاوت است و بین ۵ تا ۱۴ متر مربع تغییر می‌کند.

از آنجا که این تونل در داخل لایه یا رگه حفر می‌شود بنابراین امتداد آن تابع امتداد لایه یا رگه است و بنابراین در حالت کلی مستقیم نیست.

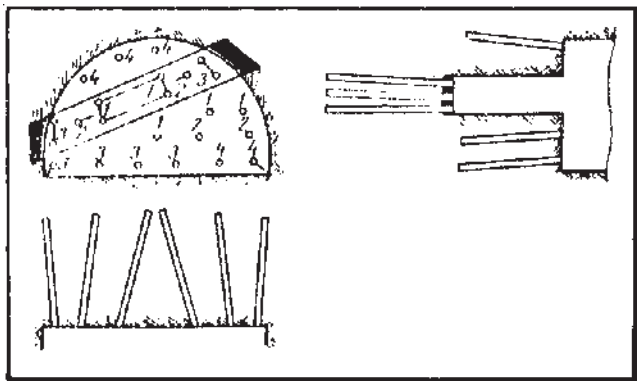
در تونل‌های دنباله‌رو که داخل لایه‌های زغال حفر می‌شوند، زغال و سنگ‌های درون‌گیر آن‌را جداگانه حفر می‌کنند و بدین ترتیب، زغال حاصل با مواد باطله مخلوط نخواهد شد. درچنین حالتی، جبهه کار زغال جلوتر از جبهه کار تونل است و فاصله این دو گاهی به ۶ متر نیز می‌رسد.

در مواردی که زغال نرم باشد، آن را به وسیله چکش مکانیکی و بقیه مقطع تونل را به توسط آتشکاری حفر می‌کنند (شکل ۲۰ــ۱۰). در چنین حالاتی انتخاب موقعیت چال‌ها ساده است و معمولاً آنها را در ردیف‌هایی موازی با فصل مشترک زغال و سنگ حفر می‌کنند.



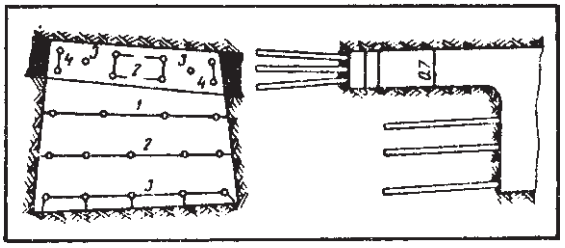
شکل ۲۰ــ۱۰ــ نحوهٔ حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)

در مواردی که جنس زغال (یا هر ماده معدنی دیگر) سخت باشد، آن‌را نیز به توسط آتشکاری حفر می‌کنند. در این حالت نیز بهتر است جبهه زغال جلوتر از جبهه اصلی تونل باشد (شکل ۲۱ــ۱۰).

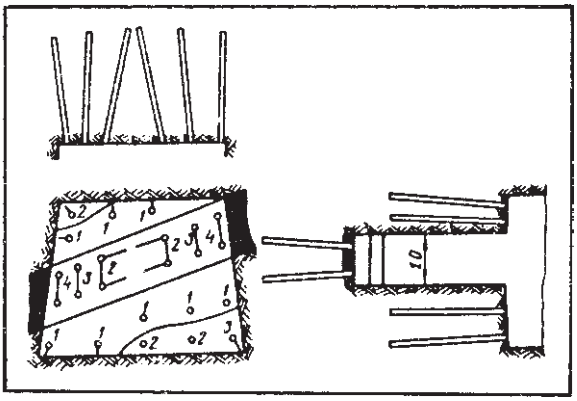


شکل ۲۱ــ۱۰ــ نحوهٔ حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)

در شکل‌های ۲۲ــ۱۰ و ۲۳ــ۱۰ نیز طرح‌های دیگری برای حفر این قبیل تونل‌ها نشان داده شده است.

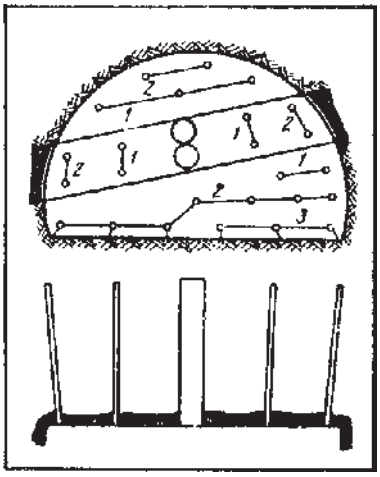


شکل ۲۲ــ۱۰ــ نحوهٔ حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)



شکل ۲۳ــ۱۰ــ نحوهٔ حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)

گاهی نیز در داخل لایه زغال چند چال بزرگ حفر می‌کنند و آنها را خالی باقی می‌گذارند (شکل ۲۴ــ۱۰). در تمام این نقشه‌ها اعداد داده شده نمایشگر ترتیب انفجار چال‌ها است.



شکل ۲۴ــ۱۰ــ حفر تونل دنباله‌رو با چال‌های مرکزی خالی (۸)

در جدول ۲ــ۱۰ میزان پیشروی و مصرف مواد آتش‌زا در بعضی از تونل‌های دنباله‌رو معدن زغال‌سنگ پابدانا درج گردیده است.

مطالعهٔ آزاد

جدول ۲ــ۱۰ــ میزان پیشروی تونل‌های دنباله‌رو در معدن زغال‌سنگ پابدانا در تیر ماه ۱۳۵۳ (۱۶)

تونل	جبهه کار	طول پیشروی متر	حجم متر مکعب	نوع سنگ	مقطع حفاری مترمربع	تعداد چال‌ها	تعداد چاشنی تأخیری ــ فوری	مصرف دینامیت کیلوگرم	مقطع مفید مترمربع	مصرف ویژه گرم بر مترمکعب
۱	تونل دنبال لایه بلوک ۵	۵۳/۷	۳۸۷	سنگ و زغال	۷/۲	۵۵۲	ت ۳۵۲ ف ۲۰۰	۲۷۵/۳۷۵	۵/۶	۷۱۰
۱	تونل دنبال لایه بلوک ۵	۸/۸	۵۵۴/۴	سنگ و زغال	۷/۲	۶۰۵	ت ۴۹۷ ف ۱۰۸	۳۷۱/۶۳۵	۵/۶	۶۷۰
۷	تونل دنبال لایه ۲	۴۲	۳۰۲/۴	سنگ و زغال	۷/۲	۳۳۵	ت ۲۷۰ ف ۶۵	۱۷۵/۶۲۵	۵/۶	۵۸۰
۷	تونل دنبال لایه ۶	۶۱	۴۳۹/۲	سنگ و زغال	۷/۲	۵۱۹	ت ۴۲۷ ف ۹۲	۳۰۳/۸۷۵	۵/۶	۷۰۰
۷	تونل دنبال لایه بلوک ۵	۴۱	۲۹۵/۲	سنگ و زغال	۷/۲	۳۲۱	ت ۲۶۵ ف ۵۶	۱۵۱/۱۲۵	۵/۶	۵۱۰

۹ــ۱۰ــ حفر تونل‌های بزرگ

۱ــ۹ــ۱۰ــ آشنایی: مقصود از تونل‌های بزرگ، تونل‌هایی است که مقطع آنها بین ۱۰ تا ۲۰ مترمربع یا بیشتر است. باید توجه داشت که این تقسیم‌بندی محلی است و در بسیاری از کشورها، تونل‌های با مقطع ۱۴ تا ۱۵ مترمربع جزو تونل‌های متوسط به‌شمار می‌آیند.

تونل‌های بزرگ برای گشایش معدن و به عنوان تونل باربری اصلی احداث می‌شود و بدین‌ترتیب، زمان استفاده از آنها طولانی است.

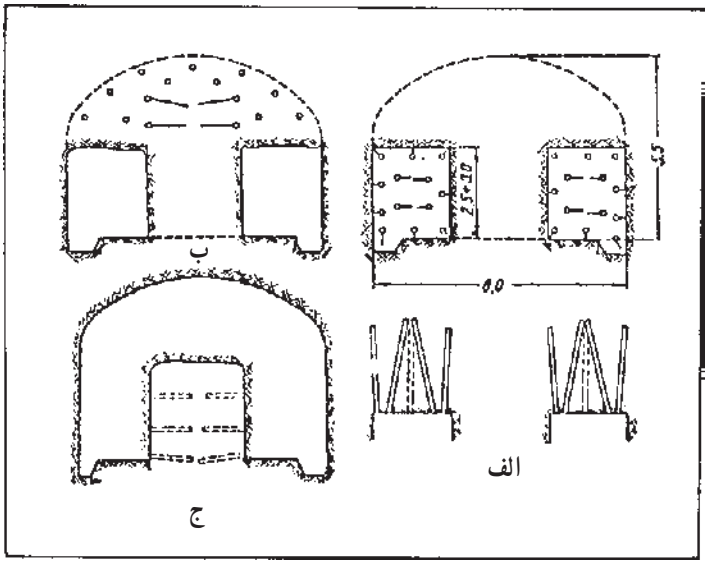
در ایران تاکنون دو تونل بزرگ معدنی حفر گردیده که یکی از آنها در معدن زغال‌سنگ پابدانا واقع در حوضه زغال‌سنگ کرمان و دیگری در معدن تزره واقع در حوضه زغالی شاهرود ــ دامغان احداث شده است. مقطع مفید تونل اولی ۱۴ مترمربع و از آنِ دومی ۱۲ مترمربع است.

تونل‌های بزرگ را در قدیم معمولاً در چند مرحله حفر می‌کردند ولی امروزه آنها را یکجا حفر می‌کنند.

۲ــ۹ــ۱۰ــ روش حفر چند مرحله‌ای : به‌طوری‌که گفتیم، این روش در قدیم بیشتر رواج داشته است و براساس آن، تونل‌های بزرگ را طی دو یا چند مرحله حفر می‌کرده‌اند.

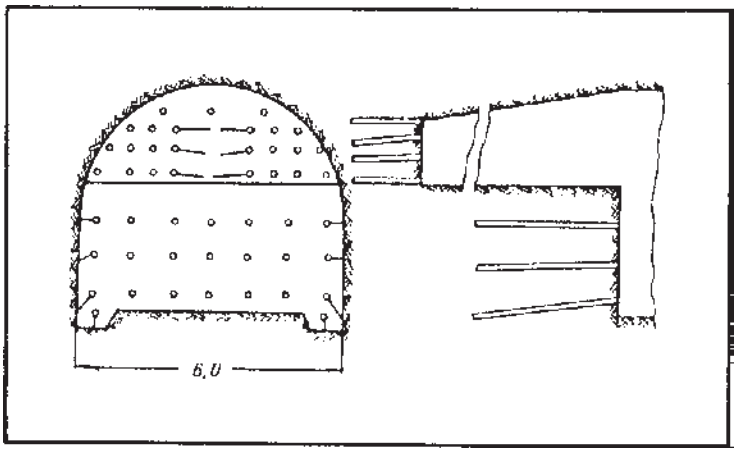
اساس کار این روش، حفر یک قسمت از مقطع تونل در مرحله اول و ایجاد یک جبهه آزاد برای قسمت‌های باقیمانده تونل است. با توجه به اندازه مقطع تونل، آن‌را در مراحل مختلف حفر می‌کنند. در شکل ۲۵ــ۱۰ نحوه حفره یک تونل بزرگ در سه مرحله نشان داده شده است.

در مواردی که سنگ‌های ناحیه مقاوم و پایدار باشند، مقطع تونل را می‌توان در دو مرحله حفر کرد.



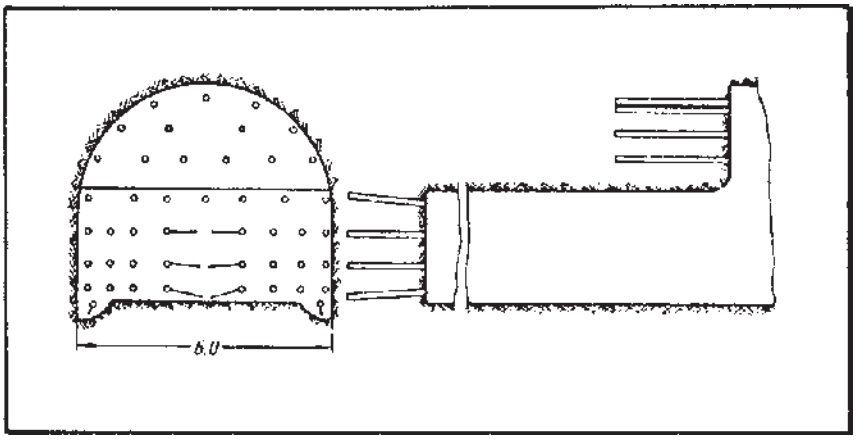
شکل ۲۵ــ۱۰ــ حفر یک تونل بزرگ در سه مرحله (۸)

در چنین مواردی، ابتدا قسمت بالای تونل و در مرحله بعد قسمت پایین آن‌را حفر می‌کنند (شکل ۲۶ــ۱۰).



شکل ۲۶ــ۱۰ــ حفر تونل‌های بزرگ در دو مرحله (۸)

در سنگ‌های با مقاومت متوسط، بهتر است ابتدا قسمت پایین تونل و در مرحله بعد مقطع بالایی آن حفر شود (شکل ۲۷ــ۱۰).



شکل ۲۷ــ۱۰ــ روش حفر دو مرحله‌ای در سنگ‌های با مقاومت متوسط (۸)

۳ــ۹ــ۱۰ــ روش حفر یک مرحله‌ای: امروزه غالباً تونل‌های بزرگ را در یک مرحله حفر می‌کنند زیرا با این روش مصرف ویژه مواد آتش‌زا، یعنی میزان ماده ناریه مصرف شده به ازای واحد حجم مواد کنده شده، کمتر است. از آنجا که مقطع این تونل‌ها بزرگ است لذا به‌آسانی می‌توان انواع مختلف ماشین‌های چال‌زنی را برای حفر چال به‌کار برد.

در شکل‌های ۲۸ــ۱۰ تا ۳۰ــ۱۰ نقشه انفجار مربوط به تونل‌های بزرگ و در شکل‌های ۳۱ــ۱۰ تا ۳۴ــ۱۰ نقشه انفجار تونل‌های خیلی بزرگ نشان داده شده است. در این شکل‌ها اعداد ذکر شده نمایشگر ترتیب انفجار چال‌ها و حروف به کار رفته به نشانه زیر است :

d = قطر چال‌های پر شده

φ = قطر چال‌های خالی مانده

N = تعداد چال‌ها

l_b = مقدار خرج در چال

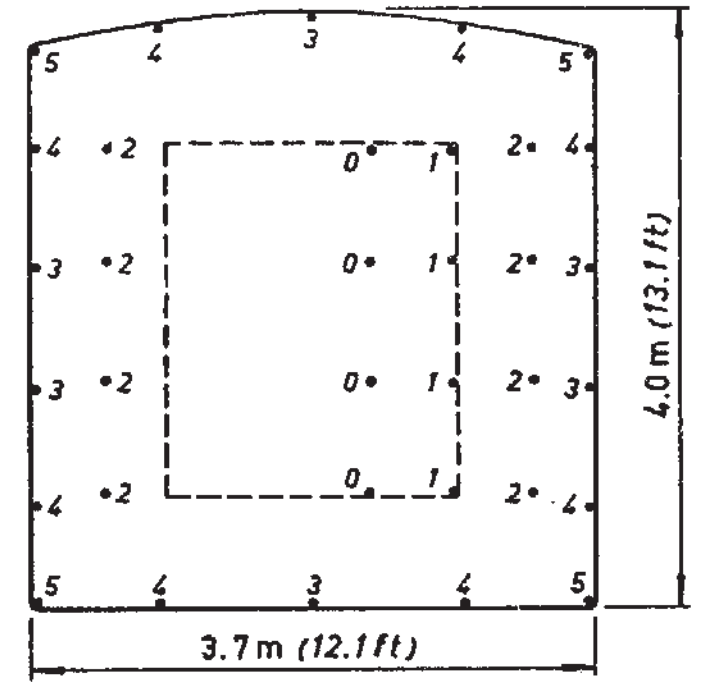
S = سطح مقطع تونل

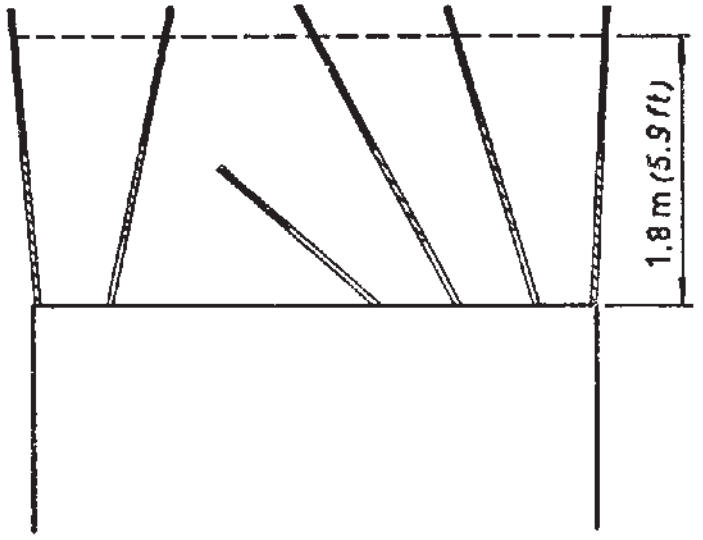
B = عرض تونل

H = عمق چال‌ها

A = میزان پیشروی در هر نوبت آتشکاری

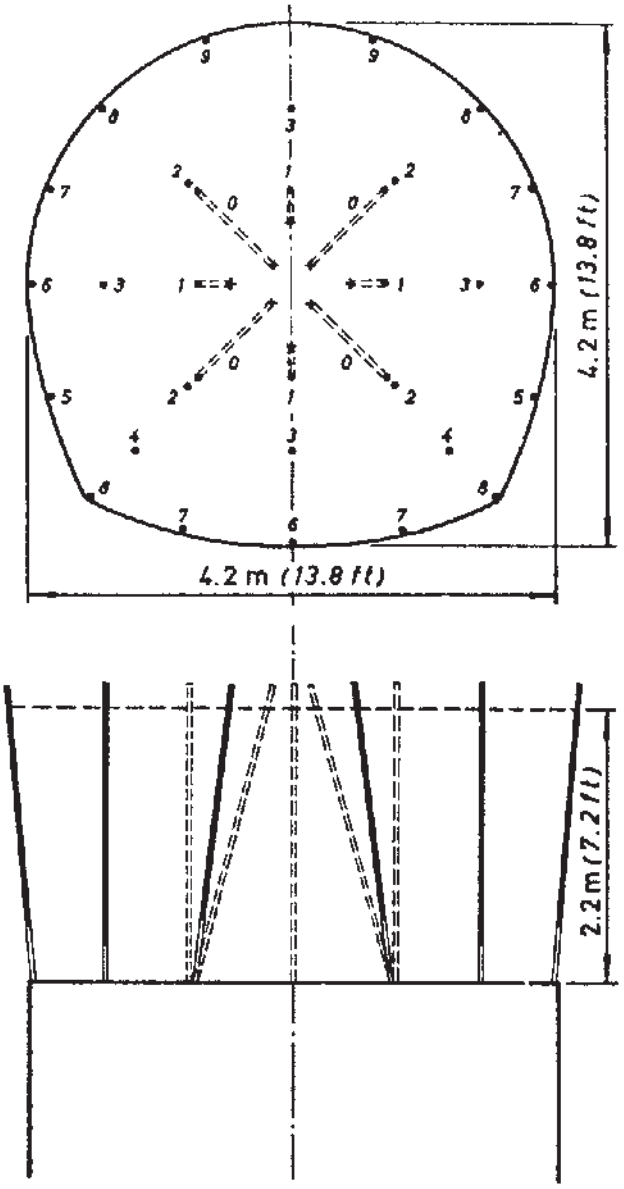
q= مصرف ویژه





S = 14 m² (151 sq.ft) d = 33–32 mm l_b = 0.8–1.0 kg/m (0.54–0.67 lb/ft)
B = 3.7 m (12.1 ft) (1.3–1.25 in) q = 1.8 kg/m³ (0.11 lb/cu.ft)
H = 2.0 m (6.6 ft) $\varnothing$ = – hole 0–5: ordinary delay 0–5
A = 1.8 m (5.9 ft) N = 34

شکل ۲۸ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)

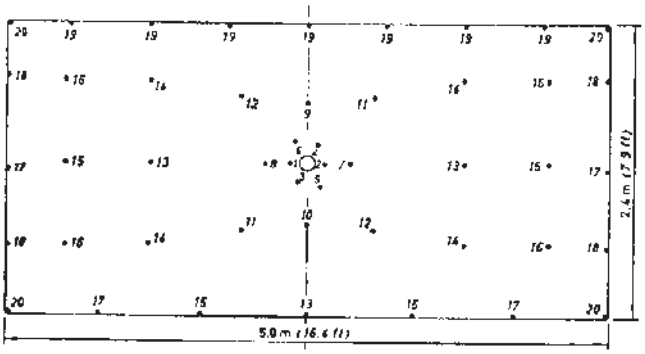


S = 15 m² (162 sq.ft)
B = 4.2 m (13.8 ft)
H = 2.4 m (7.9 ft)
A = 2.2 m (7.2 ft)

d = 38 mm (1.5 in)
ρ = –
N = 33

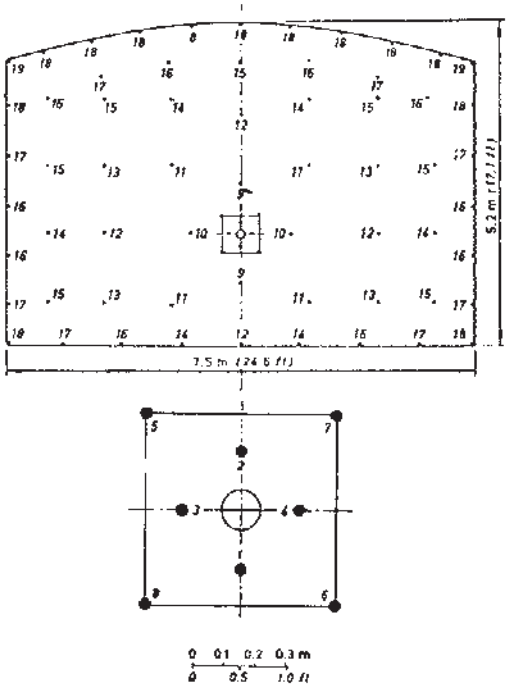
l_o = 1–1.4 kg/m (0.67–0.94 lb/ft)
q = 1.5 kg/m³ (0.093 lb/cu.ft)
hole 0–9: ordinary delay 0–9

شکل ۲۹ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)



$S = 12$ m² (130 sq.ft) $d = 30$ mm (1.2 in) $l_b = 0.35$–1.0 kg/m (0.23–0.67 lb/ft)
$B = 5.0$ m (16.5 ft) $\varnothing = 125$ mm (5 in) $q = 2.3$ kg/m³ (0.14 lb/cu.ft)
$H = 4.0$ m (13.2 ft) $N = 48 + 1$ hole 1–10: short delay 1–10
$A = 3.9$ m (12.8 ft) hole 11–20: ordinary delay 2–11

شکل ۳۰ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)



$S = 37$ m² (400 sq.ft) $d = 31$ mm (1.2 in) $l_b = 0.6$–1.5 kg/m (0.4–1.0 lb/ft)
$B = 7.5$ m (24.7 ft) $\varnothing = 125$ mm (5 in) $q = 1.3$ kg/m³ (0.08 lb/cu.ft)
$H = 3.8$ m (12.5 ft) $N = 70 + 1$ hole 1–10: short delay 1–10
$A = 3.6$ m (11.8 ft) hole 11–19: ordinary delay 2–10

شکل ۳۱ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)

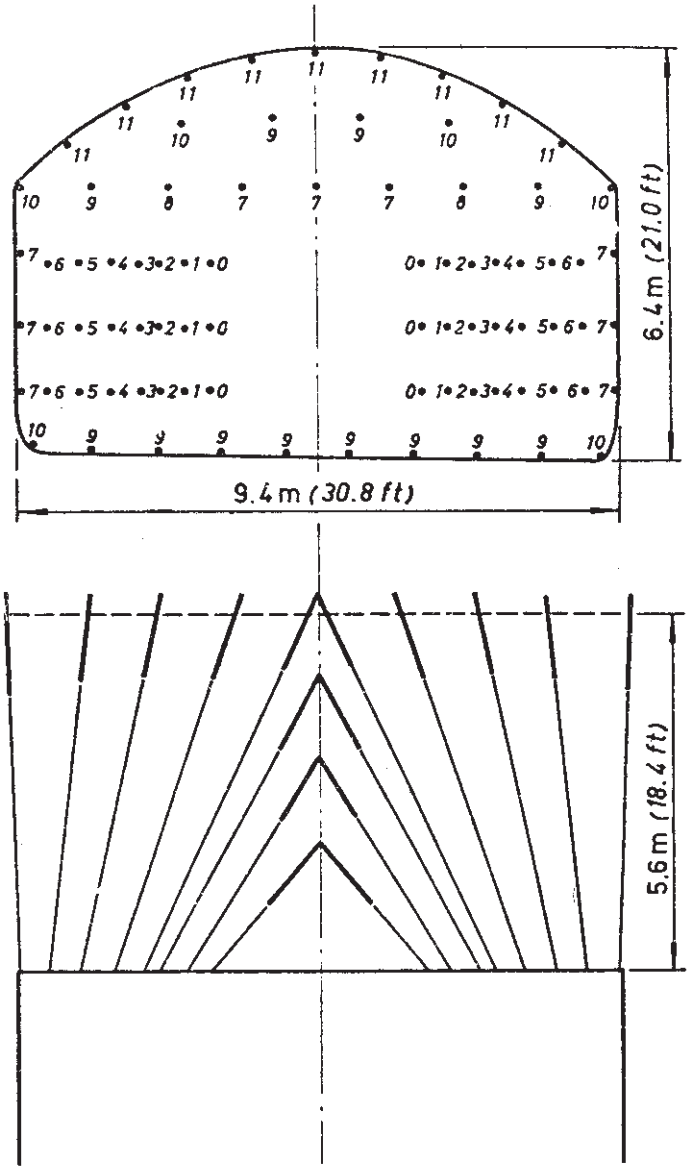
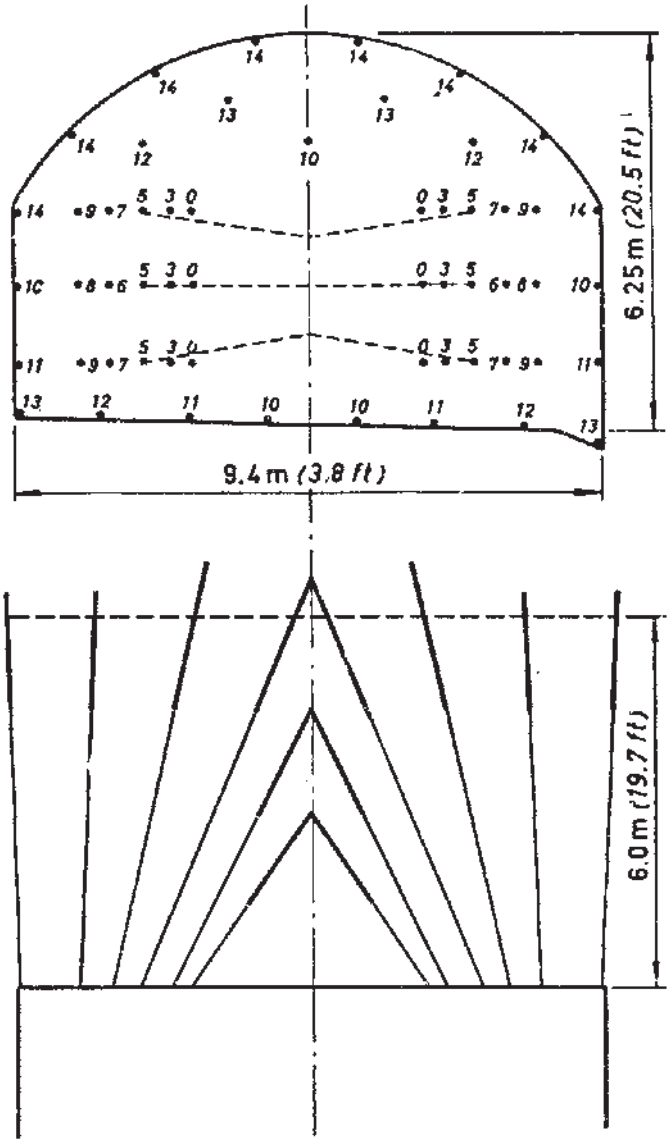


FIG. 7:36.

S = 54 m² (583 sq.ft)	d = 34 mm/(1.34 in)	l_b = 1 kg/m (0.67 lb/ft)
B = 9.4 m (30.8 ft)	⌀ = –	q = 1.1 kg/m³ (0.068 lb/cu.ft)
H = 5.9 m (19.4 ft)	N = 80	hole 0–11: ordinary delay 0–11
A = 5.6 m (18.4 ft)		

شکل ۳۲ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)



S = 52 m² (562 sq.ft)
B = 9.4 m (30.8 ft)
H = 6.4 m (21.1 ft)
A = 6.0 m (19.7 ft)

d = 44–37 mm (1.73–1.45 in)
ø = –
N = 55

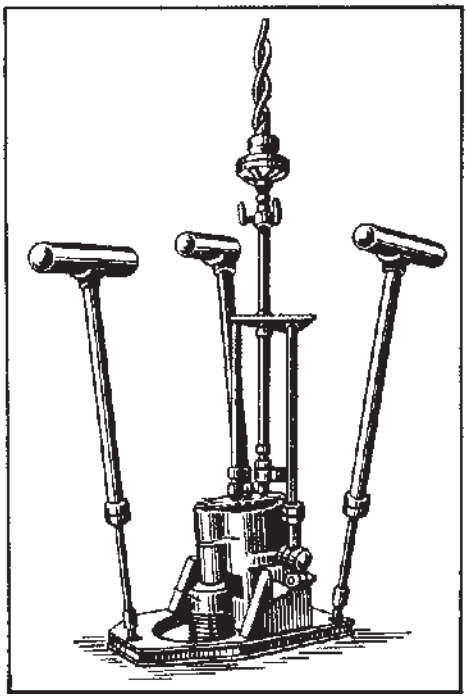
l_b = 1.5–2.1 kg/m (1.0–1.4 lb/ft)
q = 1.1 kg/m³ (0.068 lb/cu.ft)
hole 0–5: short delay 0–5
hole 6–14: ordinary delay 2–10

شکل ۳۳ــ۱۰ــ نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)

۱۰ــ۱۰ــ حفر بالارو[1] (دویل)

به‌طوری‌که قبلاً نیز گفته شد، دویل کار معدنی کوچکی است که از داخل زمین به طرف بالا حفر می‌شود و هدف از حفر آن تهویه تونل‌ها، احداث کارگاه استخراج، احداث راه عبور برای افراد و حمل و نقل لوازم و مواردی نظیر آن است.

مقطع دویل‌ها کوچک است و معمولاً بین ۱/۵ تا ۳ مترمربع تغییر می‌کند. در بسیاری موارد، دویل در داخل ماده معدنی حفر می‌شود و در این حالت وسعت آن بسته به ضخامت ماده معدنی متفاوت خواهد بود. در مواردی که ماده معدنی نرم باشد (مثل زغال) حفر دویل به کمک چکش مکانیکی و به سهولت انجام می‌گیرد. برای حفر سریع دویل در داخل لایه‌های زغال، از ماشین‌های مخصوصی استفاده می‌کنند که فرم کلی آن در شکل ۳۴ــ۱۰ نشان داده شده است.

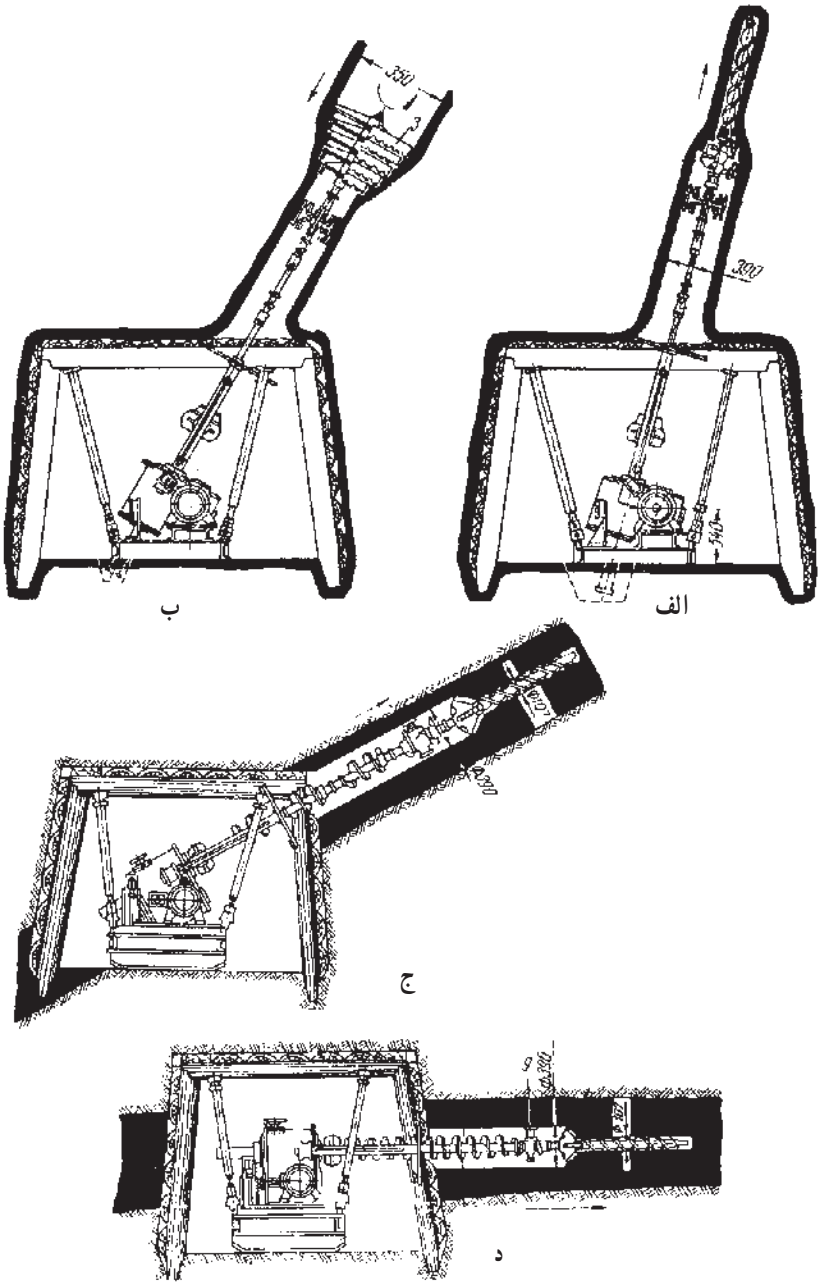


شکل ۳۴ــ۱۰ــ ماشین حفر دویل (۳)

به‌وسیلهٔ این ماشین‌ها می‌توان دویل‌هایی به قطر تا ۸۵ سانتی‌متر و به طول تا ۱۵۰ متر حفر کرد. برای سهولت کار، ابتدا به وسیله مته مخصوصی، سوراخی به قطر ۱۰۷ میلی‌متر حفر و در مرحله بعد،

۱ــ Raise

به‌وسیله مته اصلی قطر آن را تا ۳۹۰ میلی‌متر افزایش می‌دهند و بالاخره در مرحله آخر، قطر آن به ۸۵۰ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۳۵ــ۱۰).



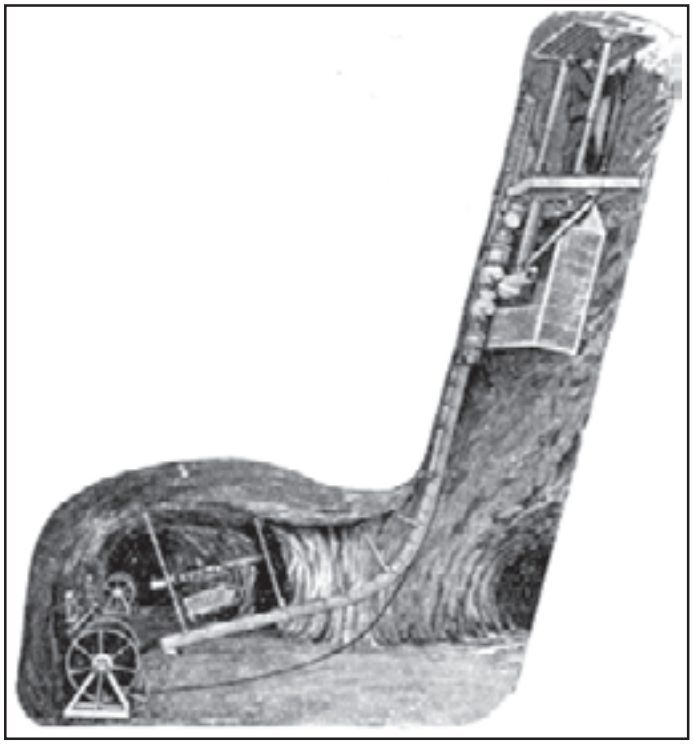
شکل ۳۵ــ۱۰ــ حفر دویل به وسیله ماشین مخصوص (۳)

در مواردی که دویل داخل سنگ یا ماده معدنی سخت حفر می‌شود باید برای حفر از موادمنفجره استفاده کرد. ولی نکته‌ای که باید در این مورد رعایت کرد تهویه صحیح جبهه کار است زیرا گازهای ناشی از آتشکاری، راه خروج ندارند و در محل جبهه کار جمع می‌شوند. همچنین در مواردی که در دویل داخل زغال آتشکاری می‌شود، توجه به میزان گاز از نکات فوق العاده مهم است و در این حالت نیز باید به‌وسیلهٔ تهویه قوی، گازهای موجود را تا حد مجاز رقیق کرد.

در مواردی که میزان گازدهی زغال خیلی زیاد باشد، حفر دویل به این صورت مجاز نیست و در این‌حالت باید آن‌را از بالا به پایین حفر کرد.

نقشه آتشکاری در دویل‌ها نیز به مشخصات سنگ‌ها بستگی دارد و مشابه نقشه‌هایی است که در مورد تونل‌های با مقطع کوچک بررسی گردید.

از آنجا که حفر دویل‌های پرشیب و به ویژه آتشکاری در آنها مشکل است، امروزه از سکوهای ویژه‌ای به این منظور استفاده می‌کنند. این سکوها در ارتفاع موردنظر قرار می‌گیرد و دربالای آن حفاظتی وجود دارد که کارگر در پناه آن قرار می‌گیرد و چاه‌ها را حفر می‌کند (شکل ۳۶ــ۱۰).



شکل ۳۶ــ۱۰ــ سکوی ویژه حفر دویل

اگر شیب دویل ۶۰° یا کمتر باشد، لق‌گیری ممکن است به‌تدریج حین بالا رفتن تحت محافظت دیواره لق‌گیری شده قبلی انجام گیرد.

آلیماک می‌تواند برای شافت عمودی همانند دویل‌های شیب‌دار مورد استفاده قرار گیرد. حد پایین شیب بستگی به زاویه سکون سنگ دارد. بر خلاف دیگر روش‌های مدرن، برای دویل‌هایی که با آلیماک حفر می‌شوند تنها به یک نقطه حمله نیاز داریم. (در پایین‌ترین قسمت) بیشترین شکستگی در این نقطه زمانی آغاز می‌شود که دستگاه بالا می‌رود.

شکل ۳۷ــ۱۰ــ بالابر آلیماک

طول پیشروی بستگی به زمان مورد نیاز کارکنان برای بالا رفتن، لق‌گیری، حفاری، خرج‌گذاری، پایین آمدن و آتشکاری دارد. حد بالا برای یک شیفت‌کاری هشت ساعته حدود ۲۰۰۰ متر است. این طول نیز بستگی به نوع جلوبر دارد، جلوبری که به‌وسیله فشار هوا کار می‌کند تا ۱۵۰ متر و جلوبر الکتریکی تا ۹۰۰ متر طول شافت کاربرد دارند. برای دویل‌های طولانی‌تر از بالابر دیزلی ــ هیدرولیکی استفاده می‌شود.

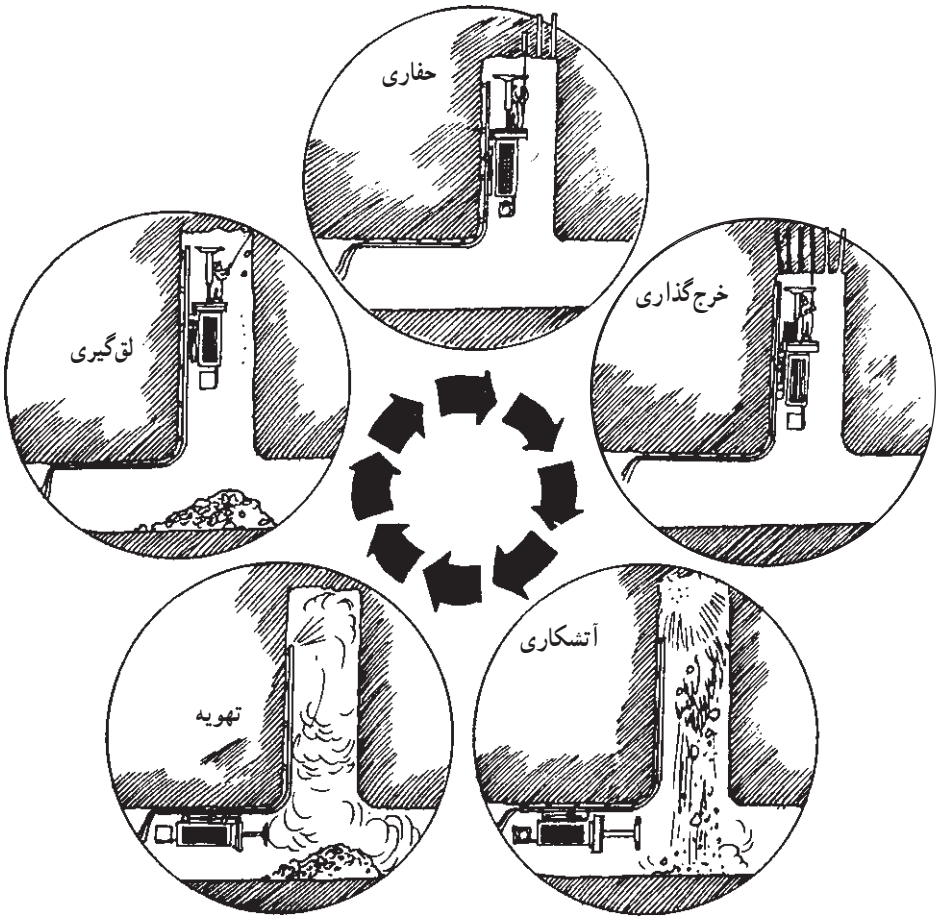
مسافت شافت به‌طور معمول ۴ مترمربع است اما شافت‌های شیب‌دار تا سطح مقطع ۳۶ مترمربع

حفر می‌گردند الگوهای حفاری و خرج‌گذاری برای همه این روش‌ها شبیه به هم است و به‌طور معمول یک دویل بالارو با سطح مقطع چهارمتر بسوی بالا حفر می‌گردد تا به سطح نهایی استخراج برسد. به‌هر حال گاهی اوقات دویل‌هایی با سطح مقطع وسیع حفر می‌شوند و همان‌طوری که گفته شد تا مساحت ۳۶ مترمربع به‌طور موفقیت‌آمیزی آتشکاری می‌گردند. الگوی حفاری و آتش برای دویل بالارو، فرقی با الگوی حفاری و آتش تونل با اندازه مشابه ندارد.

سیکل‌کاری آلیماک

حفاری: حفاری و خرج‌گذاری از سکوی بالابر زیر یک سقف محافظ ویژه انجام می‌شود. هوا و همچنین آب برای ماشین حفاری از لوله میان ریل فرستاده می‌شود.

آتشکاری: بعد از حفاری و خرج‌گذاری هر دور، بالابر پایین آورده می‌شود و در زیر سقف گالری یا تونل قرار می‌گیرد تا در خلال آتشکاری از ریزش سنگ‌ها پس از انفجار مصون باشد.



شکل ۳۸ــ۱۰ــ سیکل‌کاری آلیماک

تهویه: بعد از هر انفجار بالابر عمل تهویه و پاشیدن آب را انجام می‌دهد. بالای ریل به‌وسیله یک صفحه کلاهک که به‌عنوان پخش‌کننده آب در هنگام تهویه عمل می‌کند، محافظت می‌گردد.

لق‌گیری: لق‌گیری سقف و دیواره‌ها زیر سقف محافظ بالابر انجام می‌گیرد تا کارکنان به خوبی محافظت شوند.

۱۱ــ۱۰ــ حفر تونل‌های مورّب

تونل‌های مورّب برای دسترسی به مواد معدنی موجود در قسمت‌های پایین معدن حفر می‌شوند. بدیهی است در چنین مواردی به‌وسیلهٔ چاه‌های قائم نیز می‌توان به ماده معدنی دسترسی پیدا کرد و در هر مورد انتخاب نوع کار معدنی به عوامل مختلفی بستگی دارد.

مقطع تونل‌های مورّب نیز نظیر مقاطع سایر تونل‌ها است و غالباً به شکل طاقی یا ذوزنقه حفر می‌شوند. سطح مقطع تونل‌های مورّب بسته به نوع کاربرد آن متفاوت است. تونل‌های مورّب در بعضی از موارد داخل ماده معدنی و در سایر حالات درون سنگ حفر می‌شود.

از جمله مهم‌ترین مسائلی که در حفر این قبیل تونل‌ها وجود دارد، مسئله باربری مواد حفر شده و تخلیه آب‌های موجود است، در مواردی که تمام مقطع تونل داخل مواد معدنی نرم (مثلاً زغال‌سنگ) واقع باشد، می‌توان آن‌را به کمک چکش مکانیکی حفر کرد. اگر ماده معدنی تنها قسمتی از مقطع تونل را تشکیل دهد، ابتدا آن‌را به وسیله چکش مکانیکی و قسمت‌های باقیمانده مقطع تونل را به‌وسیله آتشکاری حفر می‌کنند و بالاخره در حالاتی که تونل در داخل سنگ واقع است، حفر آن به توسط آتشکاری انجام می‌گیرد.

نقشه‌های انفجار در مورد این تونل‌ها نیز مشابه نقشه‌هایی است که در مورد تونل‌های معمولی گفته شد و مسائل خاص مربوط به این قبیل تونل‌ها از جمله نگهداری، تهویه و باربری در کتاب‌های مربوطه ذکر خواهد شد.

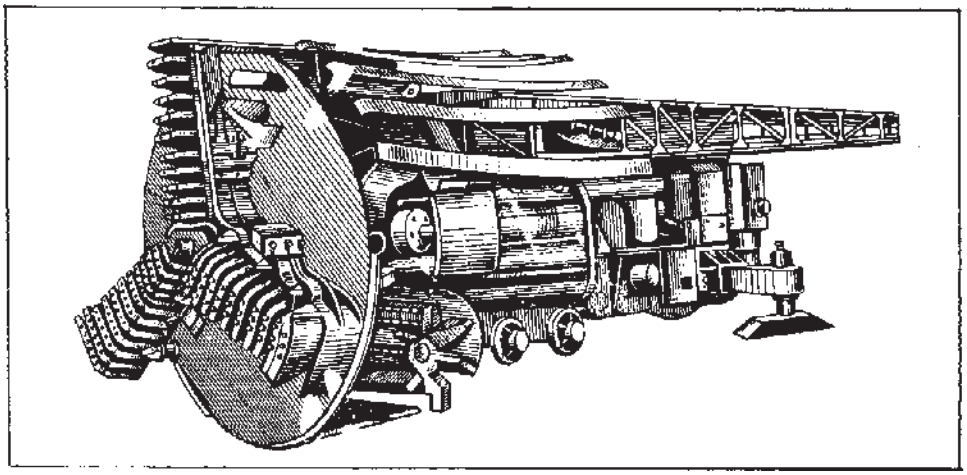
۱۲ــ۱۰ــ حفر تونل‌ها به کمک ماشین‌های مخصوص تونل‌کنی[۱]

برای حفر تونل در سنگ‌های نرم و مواد معدنی نظیر زغال، می‌توان ماشین‌های مخصوص تونل‌کنی را به کار برد. این قبیل ماشین‌ها قادرند که تمام مقطع تونل را به طور مداوم و بدون استفاده از مواد ناریه حفر کنند.

۱ــ Tunneling machine

ماشین‌های حفر تونل انواع مختلف دارند و در هر مورد با توجه به نوع سنگ، شکل تونل، نوع نیروی محرکه و مسائل نظیر آن، می‌توان از ماشین‌های مختلف استفاده کرد.

یک‌نوع از ماشین‌های تونل‌کنی که در شکل ۳۹ــ۱۰ نشان داده شده، قادر است که تونل‌هایی با مقطع دایره در سنگ‌های نرم حفر کند. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، دستگاه دارای سه بازوی شعاعی است که هر یک دارای تیغه‌های برنده هستند. مواد کنده شده به‌وسیله بیلچه مخصوصی، که در جلو دستگاه قرار دارد، به نوار نقاله ماشین منتقل می‌شود و به توسط آن می‌توان این مواد را داخل واگن‌های معدنی یا نوار نقاله‌ای که در پشت دستگاه قرار دارد، بارگیری کرد.



شکل ۳۹ــ۱۰ــ یک نوع از ماشین‌های حفر تونل (۱۵)

به‌وسیلهٔ ابزارهای حفر مخصوصی که در کناره‌های دستگاه وجود دارد می‌توان تونل‌های طاقی شکل را نیز حفر کرد.

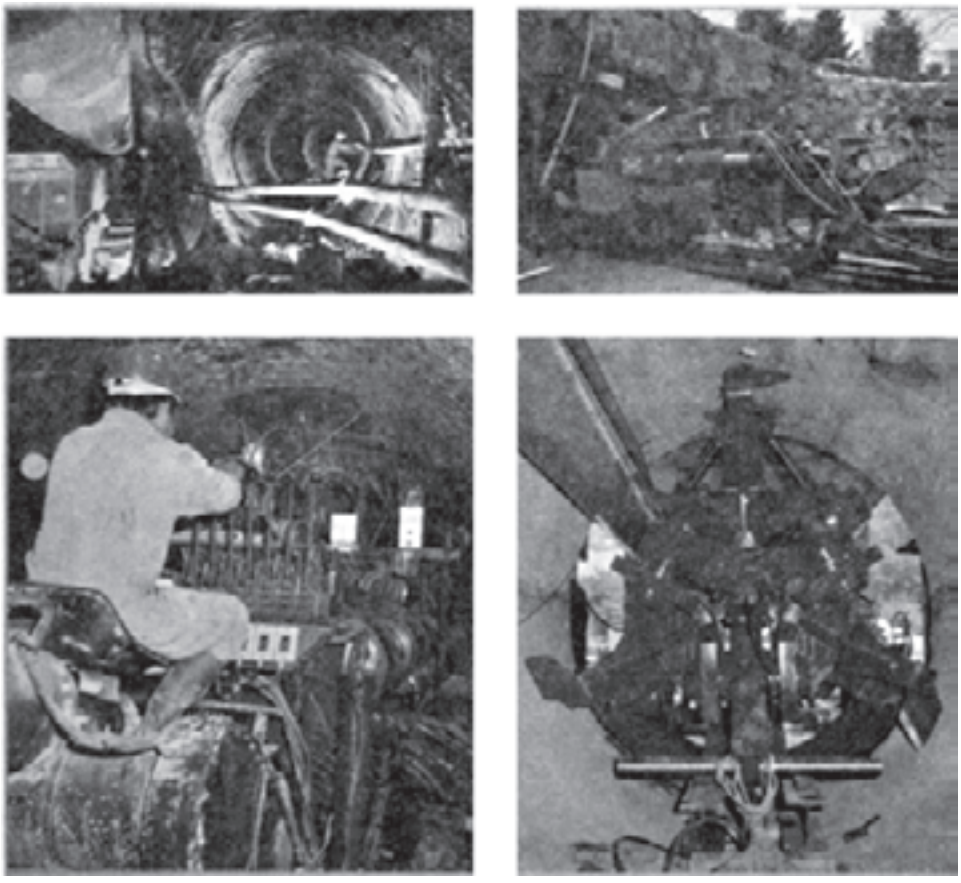
نوع دیگری از ماشین‌های حفر تونل در شکل ۴۰ــ۱۰ نشان داده شده است.

شکل ۴۰ــ۱۰ــ ماشین تونل‌کنی

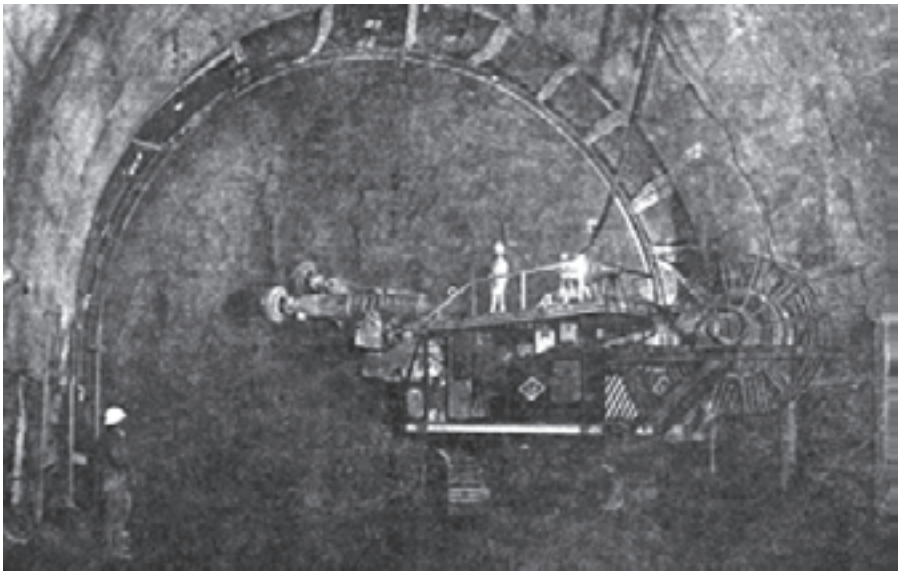
شکل ۴۱ــ۱۰ــ ماشین تونل‌کنی

به‌طوری‌که دیده می‌شود دستگاه دارای یک بازوی حفار است که در انتها یک چرخ تیغه‌دار دارد. بازوی دستگاه می‌تواند در قسمت‌های مختلف حرکت کرده و بدین ترتیب تمام مقطع تونل را حفر کند. مواد حفر شده روی سینی دستگاه می‌ریزد و به‌وسیله زنجیر متحرک به نوار نقاله دستگاه منتقل شده و به وسیلهٔ آن در واگن‌های موجود در پشت دستگاه بارگیری می‌شود. بعضی از انواع این دستگاه‌ها دارای دو بازوی حفاری‌اند.

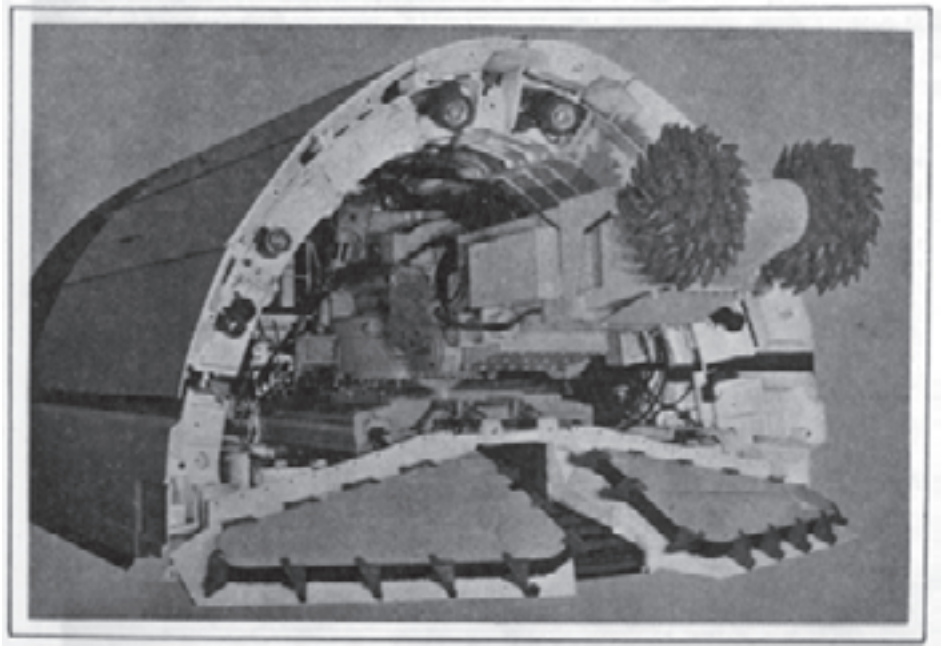
علاوه بر دستگاه‌های گفته شده انواع دیگر ماشین‌های تونل‌کنی وجود دارد که در شکل‌های ۴۱ــ۱۰ تا ۴۶ــ۱۰ نشان داده شده است.



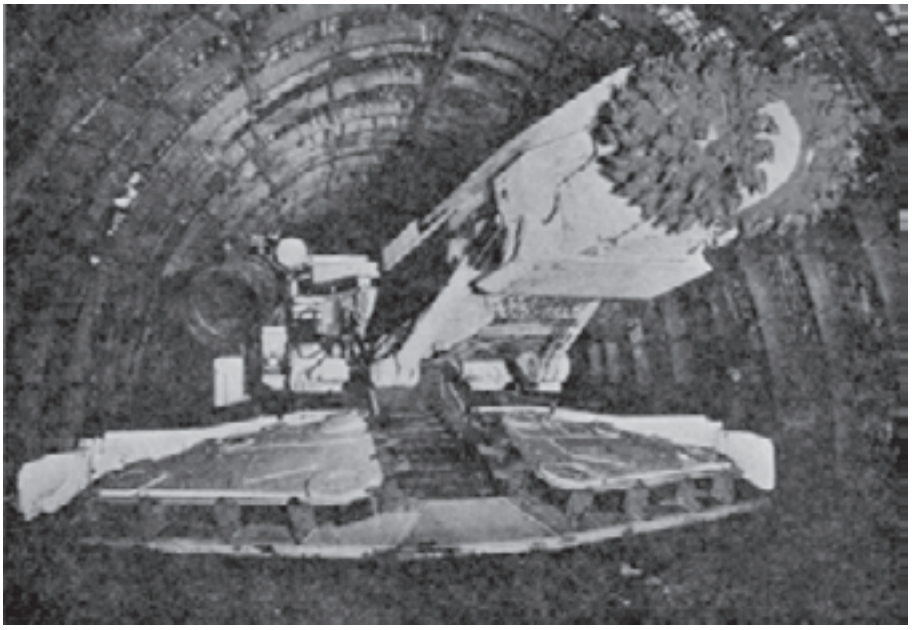
شکل ۴۲ــ۱۰ــ ماشین تونل‌کنی



شکل ۴۳ــ۱۰ــ ماشین تونل‌کنی



شکل ۴۴ــ۱۰ــ ماشین تونل‌کنی



شکل ۴۵ــ۱۰ــ ماشین تونل‌کنی

شکل ۴۶ــ۱۰ــ ماشین تونل‌کنی

۱۳ــ۱۰ــ سایر ماشین‌های حفاری مورد استفاده در کارگاه زیرزمینی

برای حفر مواد معدنی، ماشین‌های مختلفی وجود دارد چند نوع از این ماشین‌ها را به اختصار توضیح می‌دهیم :

۱ــ۱۳ــ۱۰ــ ماشین‌های زغال تراش[1]: این ماشین‌ها برای احداث برش افقی دربالا یا پایین یا برش قائم در قسمت‌های مختلف لایه‌های زغال به‌کار می‌روند. همچنین برای حفر مواد معدنی نرم نظیر نمک سنگی، پتاس، تالک و نظایر آن نیز از این ماشین‌ها استفاده می‌شود.

هدف کلی از به کار بردن این دستگاه‌ها، ایجاد یک جبهه آزاد در ماده معدنی است و پس از احداث این جبهه، زغال در اثر وزن خود یا به کمک دیلم و چکش مکانیکی، به‌آسانی کنده می‌شود.

۲ــ۱۳ــ۱۰ــ ماشین‌های حفار بارکننده[2]:این ماشین‌ها همان‌طور که از اسمشان پیداست، ضمن حفر مواد نرم (مثل زغال و نظایر آن) عمل بارگیری را نیز انجام می‌دهد و مواد کنده شده را در وسایل حمل و نقل می‌ریزد.

۳ــ۱۳ــ۱۰ــ ماشین‌های رنده : از این ماشین‌ها نیز برای کندن مواد معدنی نرم مثل زغال استفاده می‌شود.

خودآزمایی

۱ــ محل تونل در معدن را چگونه تعیین می‌کنند؟
۲ــ شکل و ابعاد تونل را چگونه تعیین می‌کنند؟
۳ــ عملیات مقدماتی حفر تونل را شرح دهید.
۴ــ برای حفر تونل چگونه برنامه‌ریزی می‌کنند؟
۵ ــ اصول حفر تونل‌های مختلف به‌وسیله مواد منفجره را شرح دهید.
۶ ــ انواع برش‌ها را نام ببرید و هر کدام را به‌اختصار شرح دهید.
۷ــ چگونگی حفر تونل‌های کوچک را توضیح دهید.
۸ ــ چگونگی حفر تونل‌های بالارو را شرح دهید.
۹ــ چگونگی حفر تونل بالارو و مورّب را شرح دهید.
۱۰ــ روش‌های حفر تونل‌های بزرگ را شرح دهید.
۱۱ــ ماشین‌های مخصوص تونل‌کنی را شرح دهید.

۱ــ Coal Cutter ۲ــ Cutter - Loader