

خواص سنگ‌ها و مواد معدنی از نظر حفر

آشنایی

انتخاب روش حفر و تهیه وسایل و لوازم مربوط به آن، بستگی تام به خواص فیزیکی و مکانیکی ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن دارد که آن‌ها را شرح می‌دهیم.

سختی^۲

مقاومت سنگ را در برابر خراش می‌توان به عنوان سختی آن بیان کرد. برای اندازه‌گیری سختی سنگ، در صورتی که از کانی واحدی تشکیل شده باشد، می‌توان از جدول سختی موس^۳ که تعیین سختی کانی‌ها را نشان می‌دهد، استفاده کرد ولی چون اغلب سنگ‌ها متجانس نیستند و از کانی‌های مختلف تشکیل شده‌اند، برای تعیین سختی نسبی چند سنگ مختلف، می‌توان آن‌ها را در زمان‌های مساوی و به وسیله مته مشابهی حفر کرد. بدیهی است هرچقدر عمق چال احداث شده در سنگ کمتر باشد، سختی آن زیادتر خواهد بود.

خواص ارتجاعی^۴

الاستیسیت، خاصیت تغییر شکل سنگ در برابر تأثیر نیروهای خارجی و برگشت پذیری آن به حالت اولیه (پس از رفع نیرو) است. هرگاه یک فنر را از دو طرف بکشیم، طول آن اضافه می‌شود و مادامی که آن را آزاد نکرده‌ایم، به همین حال باقی خواهد ماند. هنگامی که فنر را آزاد کنیم، دوباره به حال اول برمی‌گردد. به عبارت دیگر، فنر دارای خاصیت ارتجاعی یا برگشت پذیری است. حال اگر یک قطعه خمیر را بکشیم، طول آن اضافه می‌شود و پس از آزاد کردن نیز به حالت اول برنمی‌گردد. بنابراین خمیر دارای خاصیت ارتجاعی نیست.

۱ - از این قسمت سؤالی در امتحان طرح نخواهد شد.

۲ - Hardness

۳ - Mohs

۴ - Elasticity

سفتی^۱

این خاصیت بیان کننده مقاومت سنگ در برابر جدا کردن قطعاتی از آن است که همین امر باعث مقاومت اجسام صلب در برابر تغییر شکل می‌باشد. در حقیقت می‌توان این خاصیت را مشابه خاصیت گرانروی^۲ سیالات دانست.

سفتی سنگ به میزان نیروهای جاذبه مولکولی اجزای تشکیل دهنده آن بستگی دارد و تابع ترکیب، ساختمان داخلی، شکل ذرات، ترکیب و میزان سیمان و رطوبت موجود در سنگ است. مثلاً هرگاه سیمان سنگ سیلیسی باشد، سفتی آن زیاد است و در حالی که سنگی با همان ترکیب ذرات، دارای سیمان آهکی باشد، سفتی آن کمتر خواهد بود.

تخلخل^۳

درصد فضای خالی موجود در سنگ، به نام تخلخل آن نامیده می‌شود. بدیهی است در مورد سنگ‌های با ترکیب واحد، هرچقدر میزان تخلخل سنگ بیشتر باشد، مقاومت آن در برابر حفر کمتر خواهد بود.

شکنندگی^۴

این خاصیت، تبدیل سنگ به قطعات و خرد شدن آن را در برابر اعمال نیروهای خارجی بیان می‌کند.

هرگاه به یک قطعه شیشه ضربه‌ای وارد کنیم، به قطعات ریز تقسیم خواهد شد در صورتی که اگر همین ضربه را به یک قطعه سرب وارد سازیم، تنها باعث تغییر شکل آن می‌شود.

باید توجه داشت که این خاصیت ثابت نیست و عواملی مانند فشار، درجه حرارت و زمان، آن را تغییر می‌دهند.

شکل پذیری^۵

شکل پذیری خاصیتی است که تحت آن، سنگ‌ها می‌توانند به‌طور مداوم و بدون

۱ _ Rigidit

۲ _ Viscosity

۳ _ Porosity

۴ _ Brittleness

۵ _ Plasticity

شکسته شدن، تغییر شکل پیدا کنند. سنگ‌های سخت، تحت شرایط معمولی چنین خاصیتی ندارند اما سنگ‌های رسی از قبیل شیل و سنگ رس^۱ و بعضی سنگ‌های دیگر، که مقدار قابل توجهی رس دارند، این خاصیت را دارا هستند.

مقاومت^۲

رفتار سنگ‌ها و مواد معدنی در برابر عوامل مکانیکی، به نام کلی «مقاومت» خوانده می‌شود، مقاومت سنگ به خصوصیات نظیر سختی، سفتی و نیز ترکیب کانی‌شناسی آن بستگی دارد.

از آن‌جا که مقاومت در حالت کلی بیان‌کننده خصوصیات سنگ در برابر عمل حفر است، لذا مواد معدنی و سنگ‌های درون‌گیر آن‌ها را براساس این خاصیت تقسیم‌بندی می‌کنند. در این مورد تقسیم‌بندی‌های مختلفی وجود دارد که یکی از متداول‌ترین آن‌ها در جدول صفحه بعد درج شده است.

برای تعیین مقاومت فشاری سنگ‌ها براساس این جدول، باید ضریب مقاومت را در 10^6 kg/cm^2 ضرب کرد تا مقاومت سنگ به دست آید. مثلاً ضریب مقاومت شیل ماسه‌دار، ۵ است، بنابراین مقاومت فشاری آن خواهد شد:

$$5 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

به وسیله این جدول می‌توان مقاومت نسبی سنگ‌ها را نیز تعیین کرد. مثلاً ضریب مقاومت گرانیت متراکم ۱۰ و از آن شیل نرم ۲ است. بنابراین گرانیت ۵ برابر مقاوم‌تر از شیل نرم است.

درزه‌ها^۳

درزه‌ها به شکستگی‌ها و شکاف‌های موجود در سنگ اطلاق می‌شود و از جمله خواص معدنی مهم سنگ‌ها به‌شمار می‌آید زیرا وجود درزه در سنگ، از طرفی کار نگهداری کارهای معدنی را مشکل می‌کند و در صورت عدم توجه کافی به آنها باعث ریزش ناگهانی در معدن می‌شود. از سوی دیگر، با آگاهی از اندازه و نحوه توزیع درزه‌ها می‌توان از این شکست‌ها برای حفر سنگ استفاده کرد و عمل حفر را آسان ساخت.

۱-Clay stone

۲- Strength

۳-Joints

طبقه‌بندی سنگ‌ها بر اساس میزان مقاومت

ضریب مقاومت	شرح سنگ	گروه	طبقه
۲۰	مقاوم‌ترین انواع کوارتزیت‌ها، بازالت‌ها و سایر انواع سنگ‌های مقاوم	فوق‌العاده مقاوم	I
۱۵	گرانیت‌های فوق‌العاده مقاوم - کوارتز پرفیری - گرانیت‌های خیلی سخت - چرت - کوارتزیت - ماسه سنگ‌ها و آهک‌های فوق‌العاده سخت.	خیلی مقاوم	II
۱۰	گرانیت متراکم - آهک‌ها و ماسه سنگ‌های خیلی مقاوم - ریف‌ها - رگه‌های فلزی - کنگلومراهای مقاوم - کانه‌های آهن مقاوم	مقاوم	III
۸	آهک‌های مقاوم - گرانیت‌های با مقاومت متوسط - ماسه سنگ‌های مقاوم	مقاوم	III-a
۶	ماسه سنگ‌های معمولی - کانه‌های آهن با مقاومت متوسط	نسبتاً مقاوم	IV
۵	شیل ماسه‌دار - ماسه سنگ‌های متورق	نسبتاً مقاوم	IV-a
۴	شیل‌های مقاوم - ماسه سنگ‌ها و آهک‌های نیمه مقاوم - کنگلومراهای نرم	نیمه مقاوم	V
۳	انواع شیل‌های نیمه مقاوم - مارن‌های متراکم	نیمه مقاوم	V-a
۲	شیل‌های نرم - آهک‌های خیلی نرم - چاک - نمک سنگی ژئیس	نسبتاً نرم	VI
۱	رس‌های سبک	نرم	VII
۰/۶	خاک‌روبی	خاکی	VIII
۰/۵	ماسه - شن‌های ریز	شل	IX
۰/۳	شن‌های روان	روان	X

بر اساس میزان درزه‌های موجود، سنگ‌ها را به انواع خیلی درزه‌دار، درزه‌دار، کم درزه و بدون درزه تقسیم می‌کنند.

لایه‌بندی^۱

لایه‌بندی از جمله خواص سنگ‌های رسوبی است و در اثر آن سنگ به لایه‌های با ضخامت متغیر تقسیم می‌شود. فصل مشترک دو لایه از جمله نقاط ضعف سنگ‌ها است و با استفاده از آن‌ها می‌توان بهره‌دهی کارهای حفاری را بالا برد.

شکستن سنگ

شکستن تنها به معنای متلاشی یا تکه‌تکه کردن سنگ نیست بلکه ویژگی‌هایی نیز دارد؛ مثلاً یکی از ویژگی‌های مهم در شکسته شدن، ابعاد تکه‌های حاصل است؛ از سوی دیگر، سنگ مظهر مقاومت و استحکام است و برای خرد کردن آن ابزارهای قوی و نیرومند لازم است. ابزارهایی که در اختیار ما هستند، می‌توانند سنگ را بشکنند و مهارت ما در کاربرد این ابزارها نیز نقشی مهم در چگونگی شکسته شدن سنگ دارد. ابزارها یا منابع تأمین نیروی لازم برای شکستن سنگ به شرح زیر است:

– نیروی انسانی – ماشین آلات – مواد منفجره

نیروی انسانی: انسان نیرومند با استفاده از پتک، قلم، چکش و دیلم (اهرم) اقدام به شکستن توده سنگ می‌کند. شکستن سنگ با این ابزارها کاری خسته کننده و با بهره‌دهی کم است. در عمل برای شکستن قطعه سنگی به وزن ۵۰۰ کیلوگرم تا یک تن شاید بتوان برای یک یا دوبار از این وسیله‌ها استفاده کرد اما اگر قرار باشد شکستن سنگ به‌طور پیوسته انجام گیرد (مانند استخراج معادن) بهره‌دهی کم موجب تعطیلی کار خواهد شد و می‌توان ادعا کرد که عملاً کاری صورت نمی‌گیرد. برای حفر تونلی با مقطع ۵ متر مربع در شروع کار حداقل ۲۰ نفر کارگر باید به نوبت و با جانشینی یکدیگر برای رفع خستگی به مدت ۱۰ روز با ابزاری مثل قلم و چکش کار کنند تا یک متر تونل حفر شود؛ به عبارت دیگر، ۲۰۰ نفر-روز کار برای حفر اولین متر تونل لازم است و هرچه تونل جلوتر برود کار حفر آن کندتر خواهد شد. در حال حاضر که به سبب پیشرفت تکنولوژی کارها با سرعت انجام می‌گیرد و یکی از معرف‌های هر واحد تولیدی

^۱ - Bedding

بهره‌دهی آن است، چنین سرعت کاری را باید صفر به حساب آورد. امروزه سرعت حفر تونلی با مشخصات بالا و مواد منفجره تا ۵ متر در روز و با ماشین تونل‌زنی تا ۱۰ متر در روز می‌رسد در مجموع می‌توان گفت که شکستن سنگ تنها با نیروی انسانی و لوازم ابتدایی مانند پتک و قلم درست نیست و تنها در مواردی که ابزار دیگری موجود نباشد، تجویز می‌گردد.

ماشین آلات: ماشین آلات قدرتی بیش از انسان دارند و به همین دلیل بهتر از انسان می‌توانند سنگ را بشکنند، اما ایراد عمده آن‌ها این است که در همه جا قابل استفاده نیستند و هزینه آن‌ها در بسیاری از موارد بیش از مواد منفجره است؛ مثلاً یک بولدوزر یا بیل مکانیکی قوی برای کارکردن به فضایی بزرگ نیاز دارد تا بتواند سنگ را پس از کندن از توده اصلی به سمت جلوی خود حرکت دهد. اجرای این عملیات در حفاری تونل، کارگاه‌های استخراج زیرزمینی و تسطیح‌های زیر آب ممکن نیست؛ به علاوه، بولدوزر یا بیل مکانیکی قادر به شکستن همه نوع سنگی نیستند. چه بسا سنگ‌هایی که برای شکسته شدن به نیرویی بیش از نیروی این ماشین‌ها نیازمندند. بهره‌دهی کار با این نوع ماشین‌ها بیش از انسان، اما کمتر از میزان دلخواه امروزی است. این ماشین‌ها اغلب برای جابجا کردن سنگ شکسته شده یا شکستن و خرد کردن توده‌سنگ‌های سست مناسب هستند. اگر چه ماشین‌آلات جدیدی ساخته شده‌اند که برای حفر تونل کارایی زیادی دارند و با بهره‌دهی بالا این کار را انجام می‌دهند اما باید اعتراف کرد که ماشین‌های تونل‌کن برای همه شرایط به کار نمی‌آیند و بسیاری موارد وجود دارد که نمی‌توان از این ماشین‌ها استفاده کرد؛ مثلاً برای حفر تونل‌های کوتاه به صرفه نیستند؛ زیرا هزینه حمل و نقل و اتصال قطعات آن‌ها با هم زیاد است و تونل باید دارای یک حداقل معین طول باشد تا حفر آن با این نوع ماشین‌ها مقرون به صرفه شود. به‌طور کلی استفاده از ماشین‌آلات برای شکستن و جدا کردن قطعات سنگ از توده اصلی در برخی شرایط مطلوب و مفید است اما در همه شرایط مناسب نیست.

مواد منفجره (مواد ناریه): مواد منفجره برای شکستن هر نوع سنگ قدرت کافی دارند و در هر شرایطی از قبیل تونل، کارگاه استخراج، شکستن سنگ در زیر آب، فضای کوچک، فضای بزرگ و هر جا که نیاز به شکستن سنگ باشد می‌توان از آنها استفاده کرد. کار با مواد منفجره دارای بهره‌دهی بسیار بالاست و بخوبی می‌توان با تکیه بر آن برای استخراج معادن، برنامه‌ریزی کرد. محکم‌ترین و سخت‌ترین سنگ‌ها

را می‌توان براحتی با مواد منفجره شکست؛ به علاوه، هزینه استخراج سنگ با مواد منفجره بسیار کمتر از ماشین آلات یا نیروی انسانی است. ممکن است هنگام لوله‌کشی آب یا گاز در خیابان شهری به قطعه سنگ بزرگی برخورد کنیم، عموماً این قطعه سنگ‌ها از کوه مجاور جدا شده و پس از غلتیدن از کوه به این نقطه رسیده‌اند و بسیار مقاوم هستند؛ در غیر این صورت در مسیر حرکت خود شکسته می‌شوند. شکستن این نوع سنگ‌ها با پتک، کاری بسیار مشکل است. جابجا کردن آن‌ها به جرثقیلی بزرگ نیاز دارد و اگر بتوان آن‌ها را از جا بلند کرد، کامیونی مخصوص برای حمل لازم است و چنین کامیونی نصف عرض خیابان‌های مسیر را اشغال خواهد کرد؛ در حالی که با ۱۰۰ الی ۲۰۰ گرم ماده منفجره براحتی و با اطمینان خاطر می‌توان چنین سنگ‌هایی را در جا شکست و سپس آن را جابجا کرد. به این ترتیب، از شلوغی خیابان نیز جلوگیری می‌شود. اگر چنین قطعه سنگی در مسیر یک قنات در حال حفر وجود داشته باشد، استفاده از مواد منفجره برای شکستن آن هیچ‌گونه اشکالی ندارد اما شکستن و جابجا کردن آن با ماشین بسیار مشکل و حتی غیرممکن است.

با دقت در موارد یاد شده، اهمیت مواد منفجره نمودار می‌شود و به همین دلیل است که مطالعات بسیاری در مورد ساختن مواد منفجره و بهبود بخشیدن به کیفیت آن‌ها صورت می‌گیرد. با آن که انجام مطالعات در بسیاری اوقات با تلفات انسانی و ضایعات مالی همراه بوده است اما باز هم تحقیقات ادامه دارد. یکی از نتایج این تحقیقات، تولید مواد منفجره ژله‌ای و امولسیون است که در بیست سال اخیر وارد بازار شده و با وجود عمر کوتاه خود به مقدار چشمگیری جای دینامیت‌ها را گرفته و هم‌اکنون مقدار مصرف سالانه آن در معدن‌ها و برای کارهای عمرانی بیش از دینامیت‌ها است. هرکارخانه سازنده، چندین نوع ماده منفجره را برای هدف‌ها و شرایط مختلف می‌سازد و روانه بازار می‌کند. عواملی که در تنوع ساخت مواد منفجره مؤثر است، عبارتند از:

شرایط آب و هوایی منطقه، شرایط سنگ، هدف از به‌کارگیری مواد منفجره. در این کتاب به شرح کامل مراحل چالزنی و مواد منفجره، آشکاری و حفاری

می‌پردازیم.

بخش اوّل

چالزنی

حفر چال

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند:

- ۱- چال را تعریف کند.
- ۲- مشخصات چال را بیان نماید.
- ۳- هدفهای حفرچال را توضیح دهد.
- ۴- روشهای حفرچال را با ذکر تجهیزات مربوط تشریح کند.
- ۵- عوامل مؤثر در سرعت حفرچال را تشریح نماید.
- ۶- با چند جدول مفید برای چالزنی آشنایی یابد.
- ۷- نکته‌های ایمنی در حفر چال را توضیح دهد.

حفرچال^۱

حفرچال، بخشی مهم از عملیات استخراج معدن است. هر جا که در مورد کاربرد مواد منفجره مطلبی به میان آمده است در کنار آن مواد منفجره باید در چال قرار داده شود و سپس منفجر گردد به عبارت دیگر، مواد منفجره در شکستن سنگ هنگامی به کار می‌آیند که چالی وجود داشته باشد؛ لذا حفرچال امری ضروری است.

۱-۱- تعریف چال^۲

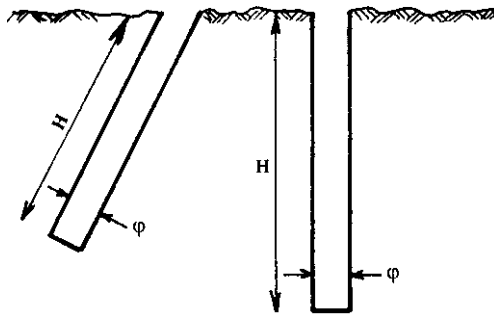
چال سوراخی است استوانه‌ای شکل با قطر و طولی معین در درون سنگ که برای منظورهای مختلف حفر می‌شود.

۱-۲-۱- مشخصات چال

هرچال با قطر، طول، امتداد و شیب آن مشخص می‌گردد. اینک به شرح هریک از عوامل یادشده می‌پردازیم.

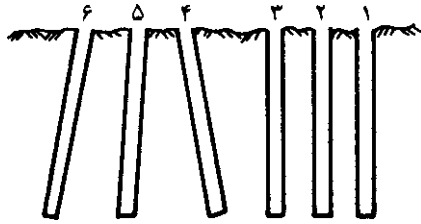
۱-۲-۱- قطرچال: قطرچال تابع طرحی است که هدف حفرچال را تعیین می‌کند هرچه قطرچال کمتر باشد، حفرچال راحت‌تر است؛ زیرا می‌توان آن را با دستگاه کوچک‌تری حفر کرد. به‌طور کلی، در عملیات چالزنی و آشکاری هرچه قطرچال بیشتر باشد، هزینه عملیات کمتر خواهد بود. قطرچال برابر قطر سرمته‌ای است که چال را با آن حفر کرده‌اند. در نگهداری معدن به روش پیچ‌کوه، نوع پیچ به کار رفته قطرچال را مشخص می‌کند. در حفرچاه آب، قطر پمپ و لوله قطرچال را تعیین می‌کنند. در استخراج معدن‌ها، نوع ماده منفجره، ابعاد سنگ شکسته شده و مقدار استخراج از عواملی هستند که قطرچال را معین می‌کنند. قطرچال با علامت ϕ نشان داده شده است (شکل ۱-۱).

۱-۲-۲- عمق چال یا طول چال: عمق چال تابع نوع عملیات و ابزار حفرچال است. عمق چال ممکن است از چندین سانتی‌متر تا چندین ده‌متر برسد. عمق چال برای گیرانداختن قلاب یا میخ نقشه‌برداری چند سانتی‌متر، برای حفر تونل تا ۵ متر، برای معدن‌های روباز تا ۵۰ متر، برای نمونه‌گیری تا ۱۰۰ متر است. در شکل ۱-۱ طول چال با علامت H مشخص شده است.



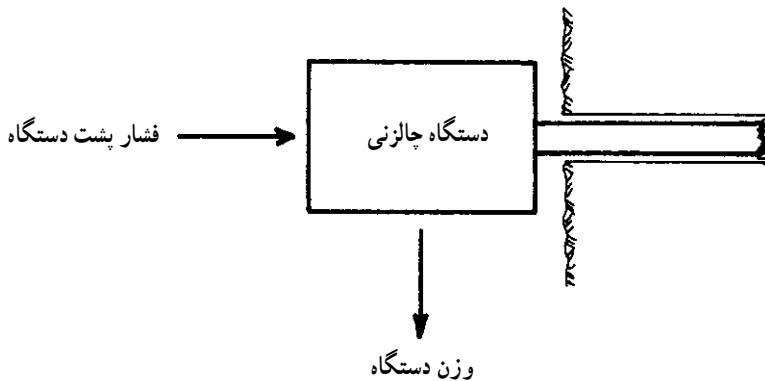
شکل ۱-۱- نمایش قطر چال (ϕ) و طول چال (H)

۱-۲-۳- امتداد چال: چال‌ها باید تا حد ممکن مستقیم حفر شوند؛ زیرا وجود چال‌های منحرف عملیات انفجار را از کنترل خارج می‌کند. در شکل ۱-۲ چال‌های منحرف را مشاهده می‌کنیم. هنگامی که انفجار در این چال‌ها صورت گیرد، در قسمتی که چال‌ها به هم نزدیکند، سنگ خیلی خرد می‌شود و در قسمت‌هایی که از هم دور هستند، سنگ به صورت قطعات درشت شکسته می‌شود یا ممکن است اصلاً شکسته نشود.



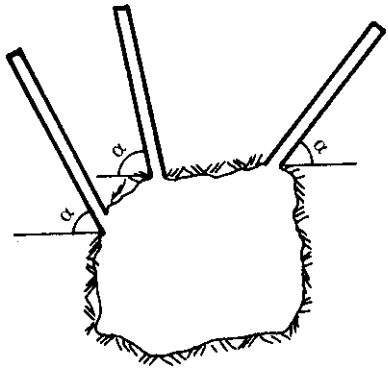
شکل ۱-۲- چال‌های شماره ۴ و ۵ و ۶ از وضعیت قائم منحرف شده‌اند.

باید توجه داشت که تنها وزن دستگاه حفاری موجب انحراف چال نمی‌شود بلکه مجموعه نیروهای وارد به دستگاه شامل وزن، نیروهای فشاری و نگهدارنده دستگاه و لرزش آن در حین چالزنی است که منجر به انحراف چال از مسیر مستقیم می‌گردد. این امر حتی در مورد چال‌های قائم که وزن دستگاه حفاری و نیروی فشاری پشت مته در یک امتدادند، اتفاق می‌افتد. نظر به این که ثابت ماندن امتداد چال بسیار اهمیت دارد، در ساخت ماشین‌آلات چالزنی بسیار کوشیده شده است تا از میزان انحراف چال‌ها کاسته شود. شکل ۱-۳ اثر امتداد نیروها را در انحراف چال نشان می‌دهد.

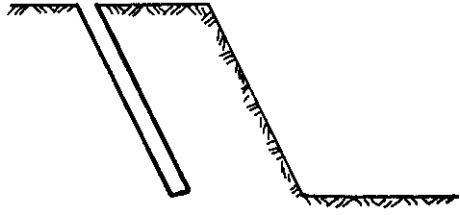


شکل ۱-۳- نیروهای مؤثر در انحراف چال

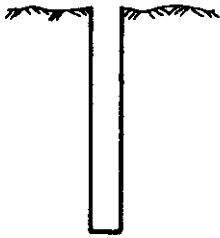
۴-۲-۱- شیب چال: شیب چال، یعنی زاویه‌ای که چال با سطح افقی می‌سازد. در معادن، چال‌ها را به یکی از صورت‌های شکل ۴-۱ حفر می‌کنند. شیب چال را با شیب‌سنج اندازه می‌گیرند. طرز عمل به این ترتیب است که میله‌ای مستقیم را داخل چال قرار می‌دهند، به گونه‌ای که حدود یک متر آن از چال بیرون باشد. شیب‌سنج را روی این قسمت قرار می‌دهند و شیب چال را اندازه‌گیری می‌کنند (شکل ۵-۱).



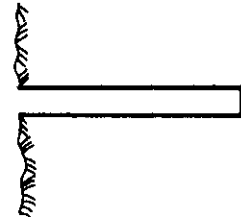
شیب دار سربالا



شیب دار سرازیر



قائم



افقی

شکل ۴-۱- نمایش انواع مختلف شیب چال. زاویه شیب با . نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- نوعی دستگاه برای تعیین شیب و امتداد چال

رعایت نکردن شیب چال‌ها نیز موجب دور و نزدیک شدن چال‌ها نسبت به هم می‌شود و نتیجه انفجار همان خواهد بود که در مورد انحراف چال گفتیم.

۵-۲-۱- حجم چال: چال استوانه‌ای شکل است؛ بنابراین، محاسبه حجم آن به آسانی انجام می‌شود اگر قطر چال و H طول آن باشد، حجم چال برابر است با: $\frac{1}{4} \cdot H$. اما در عمل حجم چال اندکی بیش از این مقدار است؛ زیرا دیواره چال ناصاف می‌شکند و قطر چال در بعضی نقاط از قطر سرتمه بیشتر می‌شود. مقدار اختلاف را ۶٪ انتخاب می‌کنند؛ یعنی، حجم چال حفر شده حدود ۶٪ بیش از حجمی است که محاسبه می‌شود. اما در محاسبات، حجم تئوری مورد نظر است.

۳-۱- هدف‌های حفر چال

حفر چال برای منظوره‌های مختلفی به شرح زیر صورت می‌گیرد:

۱-۳-۱- حفر چال برای استخراج مواد معدنی: به دلیل تغییر شرایط کار و خواص سنگ‌های معدنی قطر چال در استخراج مواد معدنی از ۳۰ تا ۷۰ میلی‌متر و طول آن از ۱ تا ۵ متر می‌رسد.

۲-۳-۱- حفر چال برای ایجاد فضای خالی سنگ: در قسمتی از کارهای عمرانی مثل ترانشه راه، کوهبری‌های راه و راه‌آهن، کانال‌های انتقال آب و بخشی از کارهای عمرانی مثل حفر تونل‌ها باید فضایی در توده سنگ خالی شود؛ یعنی، بخشی از توده سنگ بشکند. این امر به کمک حفر چال و انفجار، تحقق می‌یابد. در این گونه کارها یکی از هدف‌های عمده این است که سطح جانبی فضای باقی‌مانده حتی الامکان سالم بماند تا مسائل مربوط به ریزش پیش نیاید و در صورت بروز، در کمترین حد ممکن باشد. قطر چال‌ها در این وضعیت کمتر از ۶۴ میلی‌متر و طول چال‌ها از ۵/۰ متر تا ۱۵ متر تغییر می‌کند.

۳-۳-۱- حفر چال برای هدف‌های مختلف نیز صورت می‌گیرد

این هدف‌ها عبارتند از:

- نصب پیچ کوه یا پیچ سنگ^۱ برای پایداری سقف کارهای زیرزمینی.
- حفر چاه آب که خود می‌تواند به منزله یک چال باشد.
- اکتشاف مواد معدنی، زیرا هنگام حفر چال سنگ‌های مسیر چال خرد می‌شوند و به صورت خرده‌ریزه سنگ از دهانه چال بیرون می‌آیند.

۱ - Rock Bolt

– تثبیت ایستگاه‌های نقشه برداری زیرزمینی.
در موارد بالا برحسب نیاز قطر چال‌ها از ۳۰ تا ۷۰ میلی‌متر و عمق آنها از ۱۰ سانتی‌متر تا ۷۰ متر تغییر می‌کند.

خودآزمایی

- ۱– چال چیست؟
- ۲– مهم‌ترین هدف از حفر چال چیست؟
- ۳– عوامل و مشخصه‌های چال کدامند و هر یک را توضیح دهید.
- ۴– به چه منظورهایی چال حفر می‌گردد و بطور کلی هدف‌های حفر چال را توضیح دهید.

روش‌ها و تجهیزات حفر چال

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند:

- ۱- روشهای حفر چال را بیاموزد.
- ۲- تجهیزات حفر چال را شناسایی کند.
- ۳- متدهای حفر چال را شناسایی کند.
- ۴- چالزنی به روش D.T.H را تشریح نماید.
- ۵- عوامل مؤثر در سرعت حفرچال را بازگو نماید.

روش‌ها و تجهیزات حفر چال

۱-۲- تجهیزات و روش‌های حفر چال

برای ایجاد سوراخ استوانه‌ای شکل در سنگ یا حفرچال در آن، باید سنگی که این استوانه را می‌سازد، خرد و از محل دور شود. دستگاه‌هایی نظیر نمونه‌گیر مغزه‌ای وجود دارند که به کمک آنها می‌توان سنگ چال را به صورت استوانه‌ای کامل از زمین بیرون کشید اما حفرچال با این روش گران تمام می‌شود و به زمانی طولانی نیاز دارد. بهتر است سنگ را خرد و از محل خارج کنیم تا استوانه‌ای تو خالی به عنوان چال در سنگ درست شود. به‌طور عمده دو مکانیسم برای این‌گونه خرد کردن سنگ یا چالزنی موجود است:

الف: با ضربه زدن به سنگ آن را خرد و به روشی آن را از محل چال خارج کنیم. این روش را «چالزنی ضربه‌ای»^۱ می‌نامند.

ب: با خراشیدن سنگ آن را خرد کنیم. این روش را «چالزنی دورانی»^۲ می‌گویند. چالزنی دورانی شباهت زیادی به کار متدهای نجاری دارد.

^۱ - Percussion drilling

^۲ - Rotary drilling

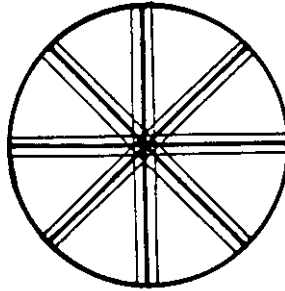
۲-۲- چالزنی ضربه‌ای

اساس کار چالزنی ضربه‌ای به شرح زیر است :

سرته‌ای را روی سنگ می‌گذاریم و به انتهای آن ضربه‌ای وارد می‌کنیم. در اثر این ضربه، سرته مختصری در سنگ فرو می‌رود و شکافی در آن به‌وجود می‌آورد. معادل حجم این شکاف سنگ می‌شکند. چنانچه سرته را مختصری بچرخانیم و ضربه دیگری به مته وارد کنیم، شکاف دیگری در سنگ ایجاد می‌شود. اگر این کار را تا چرخش یک دور کامل سرته ادامه دهیم، در نهایت استوانه‌ای با قطری معادل سرته و عمق شکاف در سنگ به‌وجود می‌آید (شکل ۱-۲ و ۲-۲). سنگریزه‌های حاصل را پاک می‌کنیم و کار را به همین ترتیب ادامه می‌دهیم. پس از مدتی، چالی به عمق و قطر معینی حفر می‌شود. در ایام گذشته که پرفوراتور یا ماشین چالزنی در اختیار نبود، با این روش اقدام به حفرچال می‌کردند. هم‌اکنون، حفرچال با پرفوراتور صورت می‌گیرد. پرفوراتور را برخی از معدنکاران، چکش چالزنی یا چکش کوهبری می‌نامند که کار پرفوراتور نیز شرح داده شد. اما سرعت چرخش مته ۸۰ تا ۱۶۰ دور در دقیقه و تعداد ضربه‌ها برحسب نوع پرفوراتور تا ۳۰۰۰ ضربه در دقیقه می‌رسد. در شکل ۱۲-۲ چند نوع پرفوراتور را مشاهده می‌کنید. در چالزنی ضربه‌ای، خرده‌ریزهای حفاری به‌وسیله‌ هوای فشرده یا آب تحت فشار از چال خارج می‌شود.



شکل ۱-۲- حفر چال با قلم و چکش



شکل ۲-۲- مراحل حفر چال در اثر چرخش مته

بنابراین در چالزنی ضربه‌ای، زدن ضربه به مته و چرخش آن هر دو لازم است اما چون سنگ تنها با عمل ضربه‌زدن خرد می‌شود، این روش را «چالزنی ضربه‌ای» نام نهاده‌اند.

۱-۲-۲- مکانیسم ضربه‌زدن در پرفوراتور: انرژی مورد نیاز برای ضربه‌زدن و چرخاندن اجزای پرفوراتور از هوای فشرده یا الکتریسیته تأمین می‌شود. انتقال انرژی به قسمت‌های محرکه پرفوراتور با هوا یا مایعاتی مثل روغن‌های هیدرولیک صورت می‌گیرد. در هر حال، با این‌که انتقال انرژی با هوای فشرده گران‌تر از انرژی الکتریکی است، به دلیل رعایت نکته‌های ایمنی هنوز هم کاربرد ماشین‌آلات هوای فشرده چالزنی بیش از انواع برقی آن است. بدین جهت به شرح ماشین‌هایی می‌پردازیم که با هوای فشرده کار می‌کنند. بهترین وسیله‌ای که به کمک آن می‌توان مکانیسم ضربه‌زدن را شرح داد، کلنگ مکانیکی یا پیک است.

۲-۲-۲- پیک (Pic): معدنکاران به این وسیله «پیکور» هم می‌گویند. کار کلنگ مکانیکی شبیه کار قلم و چکش است. قلم، فولاد نوک تیزی است که نوک آن روی سنگ تکیه داده می‌شود و انتهای آن درون پیک است. در درون پیک ضربه‌هایی بی‌درپی به انتهای قلم وارد می‌شود که به وسیله نوک قلم به سنگ منتقل شده سبب شکسته شدن آن می‌شود. تعداد ضربه‌ها برحسب نوع کلنگ از ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ عدد در دقیقه است. پیک یا کلنگ مکانیکی با هوای فشرده کار می‌کند. مصرف هوای فشرده برحسب نوع کلنگ متفاوت و از ۲۰ تا ۸۰ لیتر در ثانیه است. ضربه‌های وارد به انتهای قلم در اثر حرکت رفت و آمد پیستون انجام می‌گیرد و در هر حرکت پیستون، ضربه‌ای به انتهای قلم وارد می‌سازد، مکانیسم کار به این شرح می‌باشد: هوای فشرده از راه دریچه شماره ۱ وارد دستگاه می‌شود؛ دریچه شماره ۲ را می‌بندد و به پیستون P فشار می‌آورد؛ پیستون P تحت تأثیر هوای فشرده به جلو حرکت می‌کند.



شکل ۳-۲- چند نوع پیک

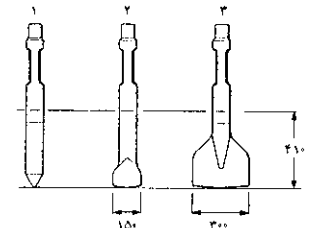
انواع پیک (پیکور): پیک یا کلنگ مکانیکی را در اندازه و وزن های مختلف می سازند. در جدول ۲-۱ بعضی مشخصات چند نوع پیک ساخت اطلس کوپکو را مشاهده می کنید با مراجعه به جدول ۲-۱ می توان نوع پیک را برای کار مورد نظر انتخاب کرد. هر چه سنگ سخت تر باشد، پیک را باید سنگین تر انتخاب کرد. البته نوع کار نیز در انتخاب قلم پیک مؤثر است. مصرف هوا، منظور مقدار هوای آزادی است که باید تا ۶ اتمسفر فشرده شود. علامت c.f.m. به معنای فوت مکعب در دقیقه است. بزرگ ترین دستگاهی که در جدول آمده است، ۳۵/۵ کیلوگرم وزن دارد اما در عمل ممکن است به دستگاه های بزرگ تر و قوی تری نیاز باشد؛ مثلاً یکی از مسائل عمده هر آتشکاری به وجود آمدن قطعه های بزرگ سنگ است. این سنگ ها به اندازه ای هستند که بارگیری آنها مقدور نیست یا سنگ شکن نمی تواند آنها را بپذیرد. لازم است قطعه سنگ های یاد شده دوباره شکسته شوند. این کار را با چالزنی و آتشکاری نیز می توان انجام داد اما وقتی که تعداد قطعه های سنگ زیاد باشد، از پیک های بسیار بزرگ استفاده می شود. نمونه ای از این نوع پیک ها در شکل ۴-۲ نشان داده شده است که در واقع پیکی بزرگ به وزن ۳۰۰ کیلوگرم است که روی یک شاسی متحرک سوار

شده است. این دستگاه برای تخریب ساختمان‌های کهنه نیز به کار می‌رود. قلم بیک مزبور در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.



شکل ۲-۴- بیک بزرگ در هر دقیقه ۵ تا ۱۰ ضربه وارد می‌کند.

مطالعه آزاد

	ته مته mm	پهنا mm	طول مؤثر mm	
۱- قلم نوک تیز	۹۵	-	۴۱۰	
۲- قلم بهن (بتون بُر)	۹۵	۱۵۰	۴۱۰	
۳- قلم اسفالت‌کنی (اسفالت بُر)	۹۵	۳۰۰	۴۱۰	

شکل ۲-۵- قلم‌های بیک بزرگ مربوط به شکل ۱۱-۳

جدول ۱-۲- مشخصات چند نوع پیک ساخت اطلس کوپکو

وزن کیلوگرم	طول میلی متر	قطر پیستون میلی متر	تعداد ضربات در دقیقه	مصرف هوا	
				لیتر بر ثانیه	c.f.m
۹/۴	۶۰۰	۳۸	۱۶۰۰	۲۲/۴	۴۷
۱۰/۶	۶۰۰	۳۸	۱۶۰۰	۲۲/۴	۴۷
۱۰/۳	۵۹۰	۳۸	۱۶۰۰	۲۲/۴	۴۷
۱۱/۵	۵۹۰	۳۸	۱۶۰۰	۲۲/۴	۴۷
۱۱/۳	۵۷۰	۳۸	۱۶۰۰	۲۲/۴	۴۷
۱۲/۵	۵۷۰	۳۸	۱۶۰۰	۲۲/۴	۴۷
۲۰/۶	۶۵۰	۴۴	۱۵۰۰	۲۲/۱	۴۷
۲۲/۸	۶۵۰	۴۴	۱۵۰۰	۲۲/۱	۴۷
۲۳/۸	۶۹۰	۵۰	۱۵۰۰	۲۹	۶۱/۵
۲۶/۰	۷۲۰	۵۲	۱۱۳۰	۲۸/۴	۶۰
۲۸/۸	۷۲۰	۵۲	۱۱۳۰	۲۸/۴	۶۰
۳۲/۶	۷۴۰	۵۸	۱۱۱۰	۳۸/۸	۸۲
۳۵/۵	۷۴۰	۵۸	۱۱۱۰	۳۸/۸	۸۲

۳-۲-۲- انواع دستگاه‌های چالزنی ضربه‌ای: برحسب ساختمان داخلی و طرز کار، دستگاه‌های چالزنی ضربه‌ای به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- پرفوراتور هوای فشرده با حرکت دورانی پیستون (چرخش پیستون)

- پرفوراتور هوای فشرده با حرکت دورانی مستقل

پرفوراتور هیدرولیکی با حرکت دورانی مستقل: این نوع پرفوراتورها نیز با هوای فشرده کار می‌کنند اما انتقال انرژی در درون آنها با روغن هیدرولیکی صورت می‌گیرد.

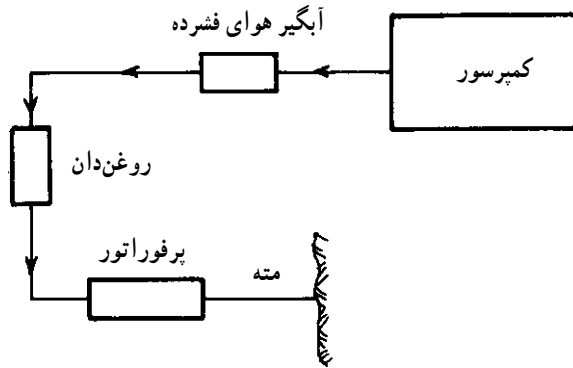
پرفوراتور *D.T.H* یا داخل چالی (*Down the hole*): در این نوع پرفوراتورها قسمت‌های ضربه‌زن و چرخاننده مته از هم جدا هستند و قسمت ضربه‌زن تا انتهای چال و پشت سر مته حرکت می‌کند.

۴-۲-۲- اجزای چالزنی ضربه‌ای: برای راه انداختن یک پرفوراتور به منظور حفر چال، اجزای زیر لازم است شکل (۶-۲):

- کمپرسور یا مرکز تولید هوای فشرده
- شیلنگ برای اتصال کمپرسور به روغن دان و روغن دان به پرفوراتور
- پرفوراتور یا دستگاه چالزنی
- مته

- نگهدارنده پرفوراتور که با اسامی پایه و بازو معرفی می شود.

درباره کمپرسور، شیلنگ و انتقال هوای فشرده تا پرفوراتور در درس های دیگر توضیح داده خواهد شد. در این جا اضافه می کنیم که هوای فشرده باید از روغن دان محتوای روغن عبور کند و سپس وارد پرفوراتور شود. این عمل برای روغنکاری قطعات متحرک پرفوراتور ضروری است. اینک به شرح سایر اجزای چالزنی ضربه ای می پردازیم.



شکل ۶-۲- اجزای چالزنی ضربه ای

- **مته:** مته از یک طرف به پرفوراتور وصل است و از طرف دیگر به سنگ تکیه دارد. مته وظیفه انتقال انرژی از پرفوراتور به سرمته را به عهده دارد و سنگ را سوراخ می کند. مته از سه جزء ته مته، میله مته و سرمته تشکیل می شود. اگر این سه جزء به هم چسبیده باشند، مته را «مته یکپارچه» یا مته «یک تکه» می نامند و اگر از هم جدا شوند، مته را «چندتکه» می گویند.

الف - مته یکپارچه: اجزای مته یک پارچه مطابق شکل ۷-۲ به این شرح است:

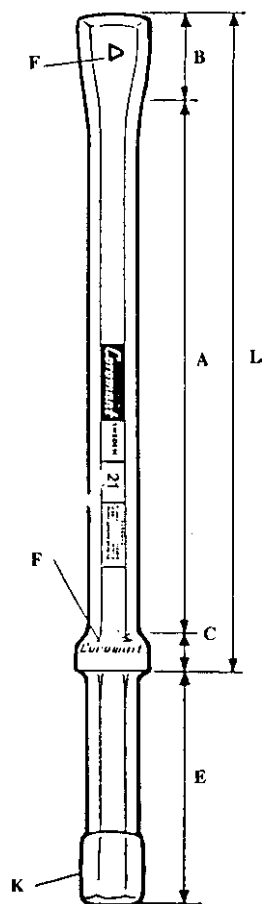
ته مته^۱: این قسمت در پرفوراتور فرو می رود و به مته گیر وصل می شود. ضربه های بیستون از ضربه زن چکش حفاری به این بخش از مته وارد می شود.

۱ - Shank

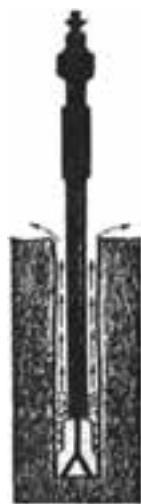
میله مته^۱: این قسمت میان ته و سر مته قرار دارد و وظیفه آن انتقال ضربه از ته مته به سر آن و حفظ ارتباط میان این دو است.

سر مته^۲: این قسمت به سنگ تکیه دارد و وظیفه آن سوراخ کردن سنگ است. اجزای مته به وسیله سوراخی محوری با هم ارتباط دارند. هوای فشرده یا آب تحت فشار از این سوراخ به سر مته می‌رسد و در این جا دو وظیفه مهم را انجام می‌دهد.
- سر مته را خنک می‌کند؛

- خرده‌ریزهای حفاری را از فاصله بین جدار چال و میله مته از چال خارج می‌سازد. همیشه باید قطر میله مته از قطر سر مته کمتر باشد تا خرده‌ریزهای حفاری فضایی لازم را برای خارج شدن از چال داشته باشند (شکل ۸-۲).



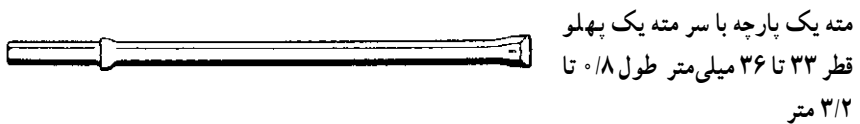
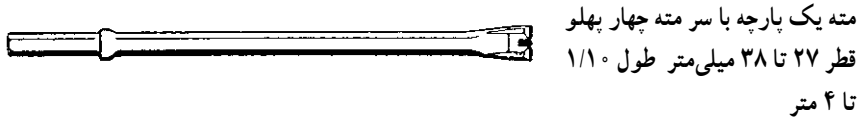
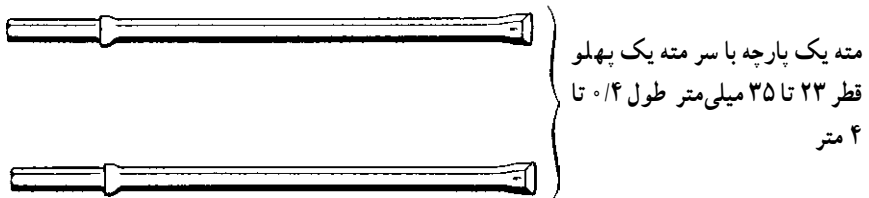
- A میله مته
- B سر مته
- E ته مته
- F علامت کارخانه سازنده
- k درپوش پلاستیکی
- L طول مؤثر مته
- M محل نوشتن قطر سر مته



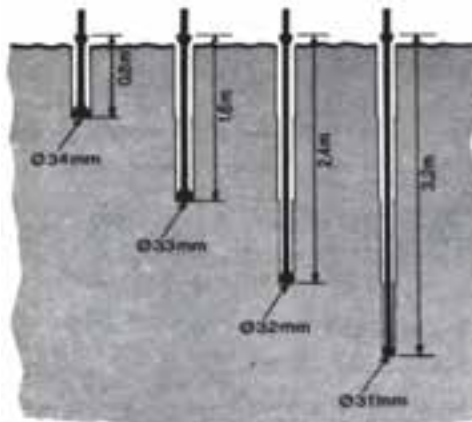
شکل ۸-۲- خارج شدن خرده‌ریزه حفاری از فضای بین میله مته و چال

شکل ۲-۷- اجزای مته یک پارچه

انواع مته یکپارچه را در شکل ۹-۲ می بینید. طول مته های یکپارچه در کارخانه های مختلف متفاوت و معمولاً از ۸۰ سانتی متر تا ۴ متر است. منظور از طول مته طول مفید آن است که فاصله بین انتهای مته تا سر آن به حساب می آید. معمولاً هرچه مته یکپارچه درازتر باشد، قطر آن کمتر است. برای حفر چال ۴ متری نباید ابتدا حفاری را با مته ۴ متری آغاز کرد؛ بلکه کار با مته ۸۰ سانتی متری آغاز می شود و سپس آن را با مته ۱/۲۰ متری عوض می کنند و حفر چال را ادامه می دهند. به همین ترتیب هر مته با مته بزرگ تر از خود تعویض می شود تا حفر چال به پایان برسد (شکل ۱۰-۲).



شکل ۹-۲- انواعی از مته های یک پارچه

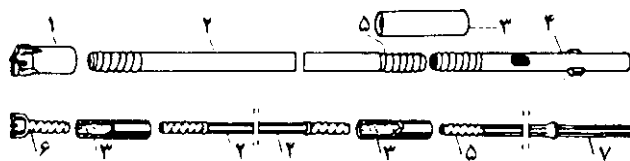


شکل ۱۰-۲- ازدیاد طول چال و کم شدن قطر سر مته

ب- مته چند تکه: با مته‌های یکپارچه بیش‌ترین عمق چال می‌تواند ۴ متر باشد اما می‌دانیم که بسیاری از کارهای معدنی به حفرچال‌هایی عمیق‌تر نیاز دارد؛ به علاوه، حفرچال با تعویض بی‌درپی مته‌ها بسیار وقت‌گیر است؛ به این دلیل، برای حفرچال‌های عمیق از مته‌های چند تکه استفاده می‌شود. اجزای مته‌های چند تکه در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است. این اجزاء عبارتند از:

- ته مته که درون چکش حفاری یا پرفوراتور قرار می‌گیرد.
- کوپلینگ که اتصال بین میله‌های مته را با هم و میله مته را با ته مته و سر آن برقرار می‌کند.
- میله مته که هر دو طرف آن حدیده شده و به کوپلینگ وصل می‌شود.
- سرمته که همیشه به انتهای میله مته آخری وصل می‌شود.

با اضافه کردن تعداد کوپلینگ و میله‌مته می‌توان چال را با طول دلخواه حفر کرد. البته شروع کار با یک میله‌مته است. پس از اینکه چال تا انتهای میله حفر می‌شود، پرفوراتور و ته مته را از میله‌مته جدا می‌کنند. در این حال، میله و سرمته درون چال قرار می‌گیرد؛ سپس، میله‌ای دیگر به آن اضافه و آن را به پرفوراتور وصل می‌کنند و چالزنی را ادامه می‌دهند. طول میله‌های مته ۱ تا ۳ متر است و زمانی که صرف اضافه کردن آن به سیستم چالزنی می‌شود، کمتر از تعویض مته‌های یکپارچه است.



۱- سرمته ۲- میله مته ۳- کوپلینگ ۴- ته مته ۵- پیچ انتهای ته مته و
یا میله مته ۶- سرمته ۷- ته مته

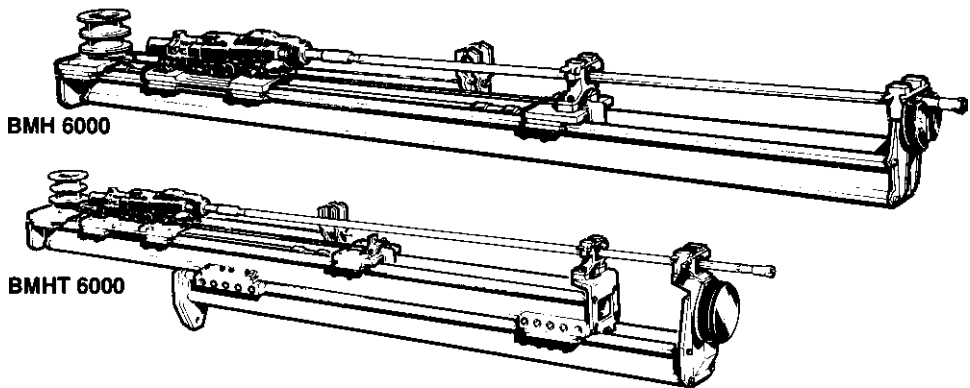
شکل ۱۱-۲- اجزای مته و میله مته برای حفرچال‌های عمیق

بازوی حفاری: برای حفرچال‌های عمیق و با قطر زیاد نیروی فشاری پشت مته به علت زیاد بودن وزن مته اهمیت خاصی پیدا می‌کند.

در مورد چال‌های قائم و رو به پایین وزن چکش و مته‌ها به نیروی فشاری کمک می‌کند ولی به علت طولانی بودن مته و وزن زیادتر چکش‌های حفاری، کنترل نیروی فشاری ضرورت می‌یابد که بیش از حد معین نباشد.

در مورد چال‌های افقی، مایل و قائم سربالا وزن مته و چکش در عمل خلاف جهت نیروی فشاری اثر می‌کنند.

گفتیم بهترین حالت زمانی است که نیروی فشاری و جهت حفرتال در یک امتداد باشند؛ بدین منظور، بازوهای مخصوصی ساخته شده است که چکش روی آنها سوار شده و در امتداد آنها به صورت کشویی به کمک یک چرخ زنجیر حرکت می‌کند، در این حالت، نیروی فشاری پشت مته درست در جهت امتداد مته و حفرتال است. در شکل ۱۲-۲ یک بازوی کشویی را، در حالی که چکش حفاری روی آن سوار شده است، مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲-۲- دو نوع بازوی حفاری که پرفوراتور روی آنها نصب شده است.

در عمل، بازوی کشویی و پرفوراتور را روی یک شاسی متحرک سوار می‌کنند و مجموعه دستگاه را به نام‌های «واگن دریل» و «جامبو» می‌نامند. واگن دریل برای حفرتال در معادن روباز و جامبو برای حفرتال در معادن زیرزمینی به کار می‌روند. جابجایی و حفرتال این ماشین‌آلات با هوای فشرده صورت می‌گیرد. برای جلوگیری از ایجاد گردو خاک هنگام چالزنی، واگن دریل‌ها مجهز به دستگاه گردگیر هستند. دستگاه گردگیر در حقیقت یک پمپ مکند است که یک سر آن در دهانه چال قرار دارد و سر دیگر آن به مخزنی برای انباشتن گردو خاک مربوط می‌شود. با استفاده از این مخزن، علاوه بر این که از ایجاد گردو خاک جلوگیری می‌شود، می‌توان خرده سنگ‌های انباشته را به عنوان نمونه سنگ زیرزمین در نظر گرفت. چند نوع واگن دریل و جامبوهای زیرزمینی را در شکل ۱۳-۲ ملاحظه می‌کنید.



ب - جامبوی Simba-300 ساخت اطلس کوپکو با سه بازوی حفاری



الف - جامبوی Cavodril ساخت اطلس کوپکو با یک بازوی حفاری



ج - واگن دریل 400S ساخت تامراک با بازوی تاشو در حال حفر چال قائم



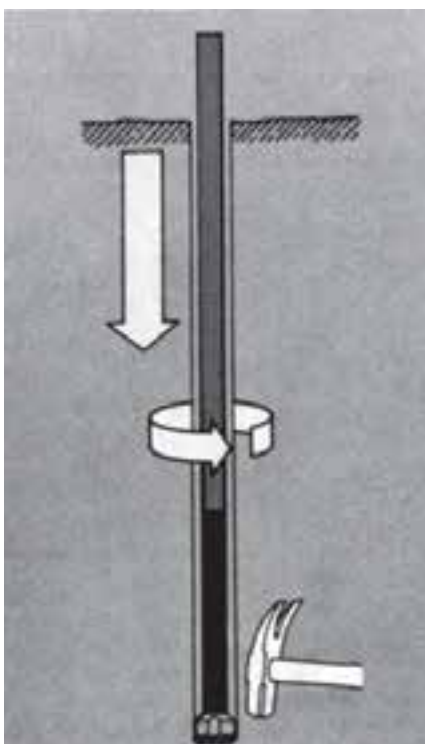
ه - واگن دریل 500S ساخت تامراک در حال حفر چال



د - جامبوی Boomer ساخت اطلس کوپکو با ۲ بازوی حفاری

شکل ۱۳-۲- ماشین آلات چالزنی بزرگ

۵-۲-۲ چالزنی به روش (Down The Hole) D.T.H: در این روش، قسمت ضربه‌زن پروراتور یا چکش چالزنی که پیش از این تحت عنوان پیستون از آن یاد کردیم، در ته چال قرار می‌گیرد و به‌طور مستقیم روی سرته ضربه می‌زند. چون در این حالت واسطه‌ای بین سرته و ضربه‌زن وجود ندارد، مقداری چشمگیر از وزن مته حذف می‌شود و از اتلاف انرژی کاسته خواهد شد. (شکل ۱۴-۲).

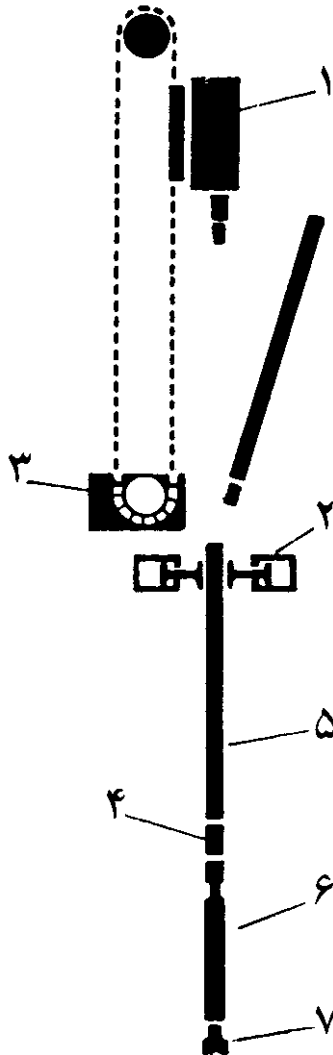


شکل ۱۴-۲- اصول چالزنی با روش D.T.H. چالزنی D.T.H.

اساس کار چالزنی D.T.H. مطابق شکل ۱۵-۲ و به شرح زیر است :

- ۱- موتور چرخاننده ضربه‌زن و سرته که به وسیله آن چرخش سرته تأمین می‌شود.
- ۲- گیره برای هدایت لوله‌های رابط که در حکم میله چالزنی هستند.
- ۳- موتور تأمین‌کننده نیروی فشاری پشت مته.
- ۴- کوپلینگ برای اتصال میله‌های چالزنی به هم (لوله‌های رابط).
- ۵- لوله رابط.
- ۶- دستگاه ضربه‌زن.
- ۷- سرته.

با روش D.T.H. چال‌هایی به قطر ۸۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر حفر می‌کنند. موتورهای ۱، ۳ و ۶ به انرژی نیاز دارند. در دستگاه‌های کوچک هر سه موتور با هوای فشرده کار می‌کنند اما در دستگاه‌های بزرگ، انرژی مورد نیاز موتورهای ۱ و ۳ نیروی الکتریکی است اما موتور ضربه‌زن با هوای فشرده کار می‌کند. هوای اگزوز این موتور صرف بیرون کردن خرده سنگ‌های حاصل از حفاری از ته چال می‌شود.



شکل ۱۵-۲- اجزای حفر چال با روش D.T.H.

مقطع دستگاه ضربه زن و سرمه را در شکل ۱۶-۲ مشاهده می کنید.

مطالعه آزاد



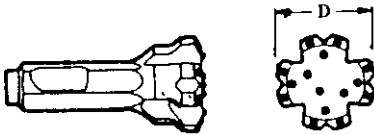
دستگاه ضربه زن و سرمه



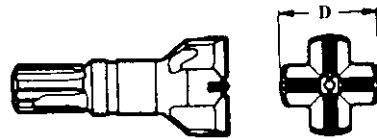
مقطع دستگاه ضربه زن و سرمه

شکل ۱۶-۲- ضربه زن و سرمه در چالزنی D.T.H.

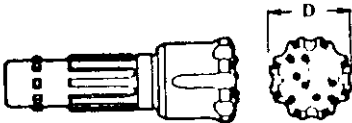
شکل ۱۷-۲ سرمه چالزنی D.T.H. را نشان داده است. حداقل قطر سرمه ها ۸۰ میلی متر است و به شکل های مختلف صلیبی، ضربدری و دکمه ای وجود دارد.



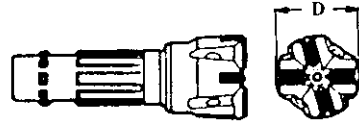
دکمه ای به قطر ۸۰ تا ۱۱۵ میلی متر



صلیبی به قطر ۸۰ تا ۱۱۵ میلی متر



دکمه ای به قطر ۱۵۲ تا ۲۱۶ میلی متر



ضربدری به قطر ۱۵۲ تا ۱۶۵ میلی متر

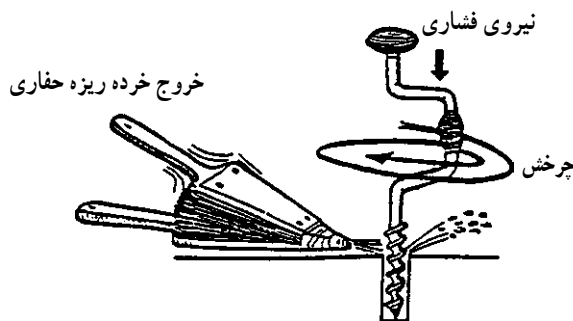


دکمه ای به قطر ۱۵۲ تا ۳۰۴ میلی متر

شکل ۱۷-۲- انواع سرمه های چالزنی با روش D.T.H.

۲-۲-۶- چالزنی دورانی^۱: در این روش حفرچال، سرمته روی سنگ فشرده شده و چرخش آن سبب خراشیده شدن سنگ می‌شود. شکل ۱۸-۲ خرده‌ریزهای سنگ را با هوای فشرده از چال خارج می‌کنند. چالزنی دورانی در معادن بزرگ رویاز که قطر چال‌ها ممکن است تا ۷۰۰ میلی‌متر هم برسد، رایج است. در ابتدا از این روش برای حفرچال در سنگ‌های با ساینده‌گی کم استفاده می‌شد اما با تغییراتی که در ساختمان سرمته داده شده و تحولاتی که در جنس آن به کار رفته است، در حال حاضر چالزنی دورانی در سنگ‌های سخت و برای حفر چال‌هایی به قطر ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر کاملاً با چالزنی ضربه‌ای و D.T.H. رقابت می‌کند. چالزنی دورانی مخصوصاً برای سنگ‌های شکافدار به کار می‌رود؛ زیرا سرعت زیاد چرخش سرمته سبب می‌شود که امکان گیرافتادن آن کاهش یابد. هوای فشرده از راه سوراخ وسط میله‌های متنه به سرمته می‌رسد و علاوه بر خنک کردن آن موجب خارج شدن خرده‌ریزه حفاری از چال می‌شود. برای جلوگیری از ایجاد گرد و خاک می‌توان به جای هوای فشرده از آب نیز استفاده کرد. یک دستگاه چالزنی دورانی شامل قسمت‌های زیر است (شکل ۱۹-۲):

- دکل حفاری که نگهدارنده میله‌های حفاری است و آنها را به طرف چال هدایت می‌کند.
 - موتور دیزل یا برقی برای حمل و نقل دستگاه
 - کمپرسور برای تولید هوای فشرده
 - موتور چرخاننده میله‌های حفاری که روی دکل نصب می‌شود.
 - کابین کنترل حفار
- در گذشته با این نوع دستگاه تنها می‌توانستند چال‌های قائم یا کمی مایل حفر کنند ولی انواع جدید آن قادر به حفر چال افقی است.



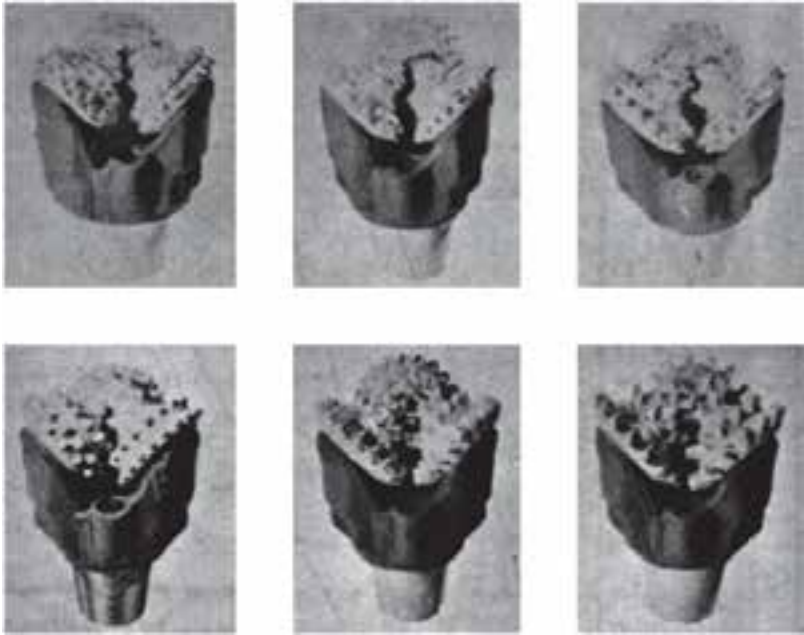
شکل ۱۸-۲- اصول چالزنی دورانی



شکل ۱۹-۲- دستگاه چالزنی دورانی شامل موتور دیزل برای حمل و نقل دستگاه کمپرسور، موتور چرخاننده میله حفاری و کابین کنترل حفار. این دستگاه برای حفر چال از قطر ۲۵۱ تا ۲۷۰ میلی‌متر به کار می‌رود. وزن کل دستگاه ۴۷ تن است.

در چالزنی دورانی، چال‌های کوتاه را با مته‌هایی حفر می‌کنند که مثل مته نجاری شیار دارند و خرده‌ریزه حفاری از داخل شیارها به بیرون چال هدایت می‌شود. دستگاه‌هایی که با این روش چال حفر می‌کنند، «پرفراتریس» نام دارند و برای حفر چال در سنگ‌های نرم مثل زغال‌سنگ مناسب هستند.

نکته قابل توجه این که نیروی فشاری پشت مته در چالزنی دورانی باید به مراتب بیش از چالزنی ضربه‌ای باشد و این امر، بویژه زمانی که در سنگ سخت چالزنی می‌شود، بیشتر نمودار می‌گردد. در چالزنی دورانی، سرعت چرخش مته برای سنگ سخت کمتر از سنگ نرم است و هرچه قطر چال بیشتر باشد، سرعت چرخش مته کمتر می‌شود. چند نوع سرمته چالزنی دورانی را در شکل ۲۰-۲ مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۰-۲- انواع سرمته‌های چالزنی دورانی

مطالعه آزاد

۲-۳- عوامل مؤثر در سرعت حفر چال

در معدن کاری یا هرگونه عملیات آتشکاری و انفجار، حفر چال بخش بزرگی از کار را تشکیل می‌دهد؛ مثلاً در حفر یک تونل اکتشافی معدن که دارای مساحت مقطع ۵ متر مربع است، برای هر متر پیشروی تونل بسته به نوع سنگ باید از ۵ تا ۲۰ عدد چال در سینه کار حفر کرد. اگر به طور متوسط تعداد چال‌ها را ۱۲ عدد در نظر بگیریم، برای یک متر پیشروی تونل دست کم باید ۱۲ متر چال حفر شود. این عدد در مورد تونل‌های بزرگ مثل تونل راه و راه آهن به ۱۳۰ متر می‌رسد؛ یعنی برای حفر ۱۰۰۰ متر تونل بزرگ باید ۱۳۰۰۰۰ متر چال حفر کرد. در یک معدن روباز سنگ آهک که چال‌هایی به قطر ۳ اینچ و با آرایش ۳ متر ۳ متر حفر می‌شوند، به ازاء هر متر چال حدود ۲۰ تن ماده معدنی به دست می‌آید. حال اگر استخراج روزانه این معدن را ۱۵۰۰۰ تن در نظر بگیریم، روزانه باید ۷۵۰ متر چال در این معدن حفر شود. با توجه به این که راندمان کار هر دستگاه واگن دریل به طور متوسط ۱۰۰ متر چال در روز است، همیشه باید حدود ۷ یا ۸ دستگاه واگن دریل در حال چالزنی باشند. از سوی دیگر، راه اندازی واگن دریل‌ها

نیاز به هوای فشرده دارد که خود مستلزم در حال کار بودن تعدادی کمپرسور و خدمات دیگر است؛ به علاوه، تا چال حفر نشود و خرجگذاری و انفجار انجام نگیرد، ماده معدنی وجود نخواهد داشت؛ لذا حفرچال از اهمیتی ویژه برخوردار است و شتاب در حفر آن از نظر سرعت بخشیدن به اجرای سایر کارهای معدن ضروری است. برای این که بتوانیم چال را با سرعت مطلوب حفر کنیم، لازم است عواملی را که در سرعت حفرچال مؤثرند، بشناسیم. با دقت در این عوامل می‌توانیم سرعت حفرچال را در یک معدن به میزان مطلوب برسانیم. عوامل مؤثر در سرعت چالزنی عبارتند از:

– چالزن (حفار) که به اصطلاح معدن کاران «کوهبر» نامیده می‌شود.

– دستگاه حفرچال

– وضعیت سنگ

حال به تشریح نقش هر یک از این عوامل در سرعت چالزنی می‌پردازیم:

۱-۲-۳- چالزن (کوهبر): چالزن باید آموزش کافی برای چالزنی دیده باشد. مهارت وی در سرعت بخشیدن به حفر چال هیچ‌گونه شک و تردیدی ندارد مرحله‌های مختلف آموزش تا کسب مهارت کافی برای چالزنی به این شرح است:

– حمل دستگاه حفر چال به محل کار

– اتصال دستگاه به هوای فشرده

– نصب پرفوراتور روی پایه

– اتصال مته به پرفوراتور یا هر نوع دستگاه حفر چال

– سرویس‌های اولیه مثل بازدید روغن‌دان، بازدید اتصالاتی‌ها، آزمایش صحت

کار دستگاه

– شناسایی محل حفرچال و آشنایی با علائم مربوط

– آگاهی از طول، شیب و جهت چال‌ها

– روش راه‌اندازی دستگاه

– حفرچال

– درک وضعیت سنگ هنگام چالزنی برای تغییر نیروی فشاری پشت مته

– رفع گیر از پرفوراتور

– هدایت بازوهای چالزنی واگن‌دریل و جامبو

– افزودن و کاستن میله مته در دستگاه حفرچال

– گریس کاری کویلینگ

طبیعی است که هرچه مهارت کوهبر بیشتر باشد، سرعت حفرچال بیشتر می‌شود. مهارت کوهبر (چالزن) به ویژه تغییر نیروی فشاری پشت مته در شرایط لازم بسیار اهمیت دارد و در سرعت بخشیدن به حفرچال نقش اساسی خواهد داشت.

۲-۳-۲ – دستگاه حفرچال: آنچه که از دستگاه حفرچال در سرعت چالزنی ضربه‌ای و دورانی مؤثرند، به این شرح است:

الف – عوامل مؤثر در چالزنی ضربه‌ای: جز نیروی فشاری پشت مته که شرح آن را به طور کامل آوردیم، سایر عوامل مؤثر در چالزنی ضربه‌ای که به طور مستقیم به نوع و کیفیت دستگاه حفرچال مربوط است، به شرح زیر است:

– انرژی ضربه‌ای پیستون

– تعداد ضربه‌های پیستون

– فشار هوای فشرده

– خروج خرده‌ریزه حفاری

– عوامل تلف‌کننده انرژی

انرژی ضربه‌ای پیستون، آن مقدار انرژی است که در هر حرکت رفت و برگشت پیستون به مته وارد می‌شود. هرچه دستگاه حفاری بزرگ‌تر باشد، انرژی ضربه‌ای آن بیشتر است و این بدان معنی است که با دستگاه‌های بزرگ‌تر حفرچال سریع‌تر از دستگاه‌های چالزنی کوچک انجام می‌گیرد.

تعداد ضربه‌ها در واحد زمان، تابع زاویه چرخش سر مته است. همان‌طور که اشاره کردیم، این زاویه به طور متوسط $\frac{1}{3}$ دور یا ۳۶ درجه است. برای سنگ‌های محکم و مقاوم زاویه مزبور را باید کمتر از این مقدار گرفت. البته باید در نظر داشت که تغییر زاویه چرخش به اختیار حفار نیست بلکه جزء ساختمان دستگاه است. از دو نوع پرفوراتور هم وزن که انرژی ضربه‌ای آنها مساوی است، آن که زاویه چرخش سر مته‌اش کوچک‌تر است، برای سنگ مقاوم مناسب‌تر از دیگری است.

فشار هوای فشرده که از بیشتر کمپرسورهای معدن خارج می‌شود، بین ۷ تا ۸ اتمسفر است. فشار هوا به طور مستقیم روی انرژی ضربه‌ای پرفوراتور اثر می‌گذارد؛ یعنی، هرچه فشار هوای فشرده‌ای که وارد پرفوراتور می‌شود، بیشتر باشد، انرژی ضربه‌ای پیستون بیشتر می‌شود و در نتیجه، چال سریع‌تر حفر می‌گردد. در عمل هوای

فشرده از کمپرسور تا رسیدن به دستگاه چالزنی مقداری افت فشار پیدا می‌کند. افت فشار به دلیل تنگی لوله هوا، زبری سطح داخلی لوله هوا، پیچ و خم، انشعاب و آب‌بندی نکردن اتصالی‌هاست. از آن جا که کمبود فشار هوا موجب کاهش انرژی ضربه‌ای و در نتیجه کُندی حفرچال می‌شود، باید در انتقال هوای فشرده به دستگاه چالزنی کاری کرد که افت فشار در کمترین حد ممکن باشد. بیشتر ماشین‌آلات چالزنی به هوایی با فشار دست کم ۵ اتمسفر نیاز دارند تا کار خود را به خوبی انجام دهند. لازم است که با فشارسنج از وجود فشار کافی هوای فشرده در سینه کار اطمینان حاصل شود.

به تدریج که حفرچال ادامه می‌یابد، لازم است خرده‌ریزه‌های سنگ از چال خارج شوند. برای این که خرده‌ریزه‌های حفاری از چال خارج شوند، باید هوای فشرده یا آب تحت فشار قدرت کافی برای بیرون راندن آنها را داشته باشند؛ به علاوه، فاصله بین میله مته و جدار چال به حد کافی باشد تا فضای لازم برای حرکت خرده‌ریزه‌ها به بیرون چال وجود داشته باشد. اگر خرده‌ریزه حفاری از چال خارج نشود، حفرچال متوقف خواهد شد و حتی ممکن است موجب گیر افتادن مته در چال نیز بشود. کوهبر ماهر با مشاهده دهانه چال هنگام چالزنی، به خوبی می‌تواند تشخیص دهد که آیا خرده‌ریزه‌های حفاری در چال باقی مانده‌اند یا خیر. اگر در چال باقی مانده باشند، حفاری را متوقف می‌کند و تمام انرژی هوای فشرده را صرف بیرون کردن خرده‌ریزه‌ها خواهد کرد و پس از تمیز شدن کامل چال، حفر آن را ادامه می‌دهد. مقداری از انرژی وارد شده به مته تا رسیدن به سر مته تلف خواهد شد. تلف شدن انرژی به صورت‌های زیر است:

– در مته‌های یکپارچه اتلاف انرژی کمتر از مته‌های چند تکه است.

– هرچه چال عمیق‌تر باشد، اتلاف انرژی بیشتر خواهد بود.

تلف شدن انرژی موجب کاهش سرعت حفر چال می‌شود. این امر مخصوصاً در حفرچال‌های طولی به خوبی نمودار است. معمولاً اولین متر چال سریع‌تر از متر دوم و دومین متر از سومین متر چال سریع‌تر حفر می‌شود. این روند همچنان ادامه خواهد یافت تا جایی که اگر طول چال زیاد شود، حفر آن به کندی صورت می‌گیرد یا در عمل متوقف می‌شود. در دستگاه‌های چالزنی D.T.H. نظر به این که ضربه‌زن پشت سر مته قرار دارد، اتلاف انرژی از این بابت وجود ندارد اما باید در نظر داشت که دستگاه D.T.H. در همه انواع چال‌ها مورد استعمال ندارد؛ به علاوه، بسیار گرانتر از دستگاه‌های

چالزنی عادی است و تغییرات آن نیز مشکل تر است. به هر حال، وقتی که از دستگاه چالزنی D.T.H. استفاده نشود، ائتلاف انرژی به دلیل زیاد بودن طول چال وجود خواهد داشت و برای جبران آن باید از دستگاه‌های چالزنی بزرگ استفاده کرد.

ب - عوامل مؤثر در سرعت چالزنی دورانی:

- نیروی فشاری پشت مته

- سرعت دوران سر مته

- فرم و شکل سر مته

- خروج خرده‌ریزه‌های حفاری

در چالزنی دورانی باید سر مته مقداری در سنگ فرو رود و آن را بتراند. درست مثل مته‌های نجاری که چوب را سوراخ می‌کنند. برای فرو کردن سر مته در سنگ نیروی بسیار زیادی لازم است که به هیچ‌وجه قابل مقایسه با نیروی فشاری پشت مته در چالزنی ضربه‌ای نیست. در چالزنی ضربه‌ای نیروی لازم برای فشردن مته به سنگ حدود ۱۵ کیلوگرم است؛ در حالی که در چالزنی دورانی مقدار نیروی فشاری بسته به نوع سنگ از ۷۰ تا ۴۲۰ کیلوگرم است.

سرعت دوران سر مته تابع قطر چال و کیفیت سنگ است. هرچه قطر چال بزرگ‌تر باشد یا هرچه سنگ مقاوم‌تر باشد، سرعت دوران سر مته باید کاهش یابد تا سر مته در مدت زمان کافی با سنگ تماس پیدا کند و قادر به تراشیدن آن بشود. سرعت دوران سر مته با قطر چال مطابق جدول ۲-۲ تغییر می‌کند.

جدول ۲-۲

قطر چال به میلی‌متر	۸۹ تا ۱۵۰	۱۵۰ تا ۲۰۰	۲۰۰ تا ۲۵۰	۲۵۰ تا ۳۱۷
سرعت دوران سر مته به دور در دقیقه	۲۵۰	۱۵۶	۱۰۰	۶۰

چالزنی دورانی، سر مته‌های مخصوص به خود را لازم دارد و نمی‌توان برای آن از سر مته‌های چالزنی ضربه‌ای استفاده کرد.

در مورد خروج خرده‌ریزه‌های حفاری مطالبی که در چالزنی ضربه‌ای گفتیم، در این جا نیز صادق است و اگر خرده‌ریزه‌ها از چال خارج نشود، حفر چال متوقف می‌شود.

۳-۳-۲- خواص سنگ‌ها از نظر حفر چال: سنگ‌ها به طور کلی به سه

دسته تقسیم می‌شوند:

– سنگ‌های آذرین که از انجماد ماگما (مایع مذاب درون زمین) به وجود آمده‌اند.

– سنگ‌های رسوبی که از تجمع ذرات ریز سنگ‌ها یا مواد آلی حاصل می‌شوند.

– سنگ‌های دگرگونی که حاصل دگرگونی سنگ‌های آذرین و رسوبی هستند.

برخی از خواص سنگ‌ها که در چالزنی مؤثرند، به شرح زیر هستند :

الف – سختی سنگ: سختی هر سنگ ناشی از سختی کانی‌ها و اجزای

تشکیل دهنده آن است. یکی از کانی‌های سخت «سیلیس» است که دارای سختی ۷ بوده و به وفور در نقاط مختلف زمین و همراه سایر کانی‌ها وجود دارد. هرچه تعداد کوارتز در سنگ بیشتر باشد، قدرت سایندگی آن بیشتر می‌شود و قطعاتی از ماشین‌آلات معدنی را که با سنگ تماس مستقیم دارند، زودتر فرسوده می‌کند. در مورد سنگ‌های سخت بهتر است حفارچال با روش ضربه‌ای انجام گیرد؛ زیرا کاربرد روش دورانی به دلیل سایش بیش از اندازه سرمته‌کندی و هزینه زیاد در حفارچال را به دنبال خواهد داشت. جدول ۲-۳ موجودی کوارتز انواع سنگ‌ها را نشان می‌دهد. با مراجعه به این جدول، میزان سایندگی نسبی انواع سنگ‌ها مشخص می‌شود. هر جا که سایش زیاد است، بهتر است برای حفارچال از روش ضربه‌ای استفاده شود.

جدول ۲-۳- موجودی کوارتز انواع سنگ‌ها برحسب درصد وزنی

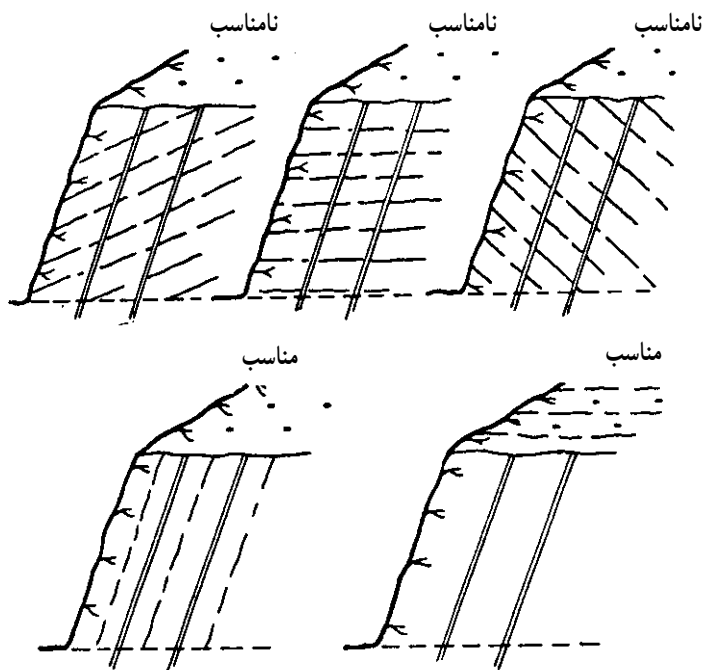
نوع سنگ	درصد وزنی کوارتز	نوع سنگ	درصد وزنی کوارتز
آمفیبولیت	۵ تا ۰	میکاگنیس	۰ تا ۳۰
آنورتوزیت	–	میکاشیست	۱۵ تا ۳۵
دباباز	۵ تا ۰	نوریت	–
دیوریت	۱۰ تا ۲۰	پگماتیت	۱۵ تا ۳۰
گابرو	–	فیلیت	۱۰ تا ۲۵
گنیس	۱۵ تا ۵۰	کوارتزیت	۶۰ تا ۱۰۰
گرانیت	۲۰ تا ۳۵	ماسه سنگ	۲۵ تا ۹۰
کری واک	۱۰ تا ۲۵	سنگ لوح (slate)	۱۰ تا ۳۵
سنگ آهک	۵ تا ۰	شیل	۰ تا ۲۰

ب – ابعاد دانه‌ها: هرچه سنگ درشت‌تر باشد، راحت‌تر می‌توان در آن چال حفر کرد. برحسب نوع دانه‌بندی حتی اگر ترکیب یکسان کانی شناسی داشته باشند،

نتیجه عمل در حفاری متفاوت خواهد بود؛ مثلاً چهار نوع سنگ کوارتزیت با یک نوع ترکیب کانی شناسی چنانچه دارای دانه بندی زیر باشند، با اینکه ترکیب هر چهار نوع آنها یکی است ولی به علت تغییر ابعاد دانه ها حفارچال در این سنگ ها به ترتیب از بالا به پایین (از دانه ریز به دانه درشت) ساده تر می شود.

کوارتزیت فشرده	با ابعاد دانه های	۰/۵ میلی متر
کوارتزیت دانه ریز	با ابعاد دانه های	۰/۵ تا ۱ میلی متر
کوارتزیت دانه متوسط	با ابعاد دانه های	۱ تا ۵ میلی متر
کوارتزیت دانه درشت	با ابعاد دانه های	بیش از ۵ میلی متر

ج- درزه و شکاف: سطح مشترک بین لایه ها، درزه و شکاف نقاطی است که به شکستن سنگ کمک می کند و با استفاده از آنها در برخی موارد می توان شکستن سنگ را به راحتی انجام داد اما یادآوری می کنیم که چالزنی در سنگ شکافدار به مراتب پردرد ستر از سنگ های بدون درز و شکاف است و بهتر است چال را در جایی حفر کنیم که از شکاف و درزه عبور نکند. شکل ۲۱-۲ چند نوع درزه و شکاف و امکان چالزنی آنها را نشان می دهد.



شکل ۲۱-۲- محل حفر چال در صورت وجود درزه و شکاف در توده سنگ

۴-۲- چند جدول مفید برای چالزنی

جدول‌های ۲-۳، ۲-۴ و ۲-۵ بر اساس نوع سنگ‌ها روش چالزنی آنها را مشخص کرده است. این جدول‌ها برای آغاز کار و به دست آوردن اطلاعات اولیه کافی و برای انتخاب دستگاه چالزنی بسیار مفید هستند.

در این جدول، انواع سنگ‌های آذرین برحسب سختی و ساینده‌گی آنها مرتب شده و روش چالزنی مناسب در آن قید گردیده است؛ مثلاً برای حفر چال به قطر ۵۰ تا ۱۰۲ میلی‌متر از پرفوراتورهای سنگین و برای حفر چال‌هایی به قطر ۱۰۲ تا ۱۵۰ میلی‌متر از ماشین D.T.H. و برای قطر بیش از ۱۵۰ میلی‌متر روش دورانی پیشنهاد شده است.

مطالعه آزاد

جدول ۴-۲- روش چالزنی مناسب برای انواع سنگ‌های آذرین

سختی و ساینده‌گی				نوع سنگ
ساینده	متوسط	کم ساینده	تجزیه شده	
ریولیت	داسیت	آندزیت	سریانترین	
	دونیت	بازالت		
آپلیت	گابرو	تراکیت		
گرانودیوریت	کوارتزیدیوریت	دیوریت		
پگماتیت		گابرو		
کوارتز پرفیری		سینیت		
گرانیت				
روش چالزنی	پرفوراتور سنگین برای چال به قطر ۵۰ تا ۱۰۲ میلی‌متر DTH برای قطر ۱۰۲ تا ۱۵۰ میلی‌متر، دورانی برای قطر بیش از ۱۵۰ میلی‌متر پرفوراتور سنگینی تا قطر ۱۵۰ میلی‌متر و دورانی برای قطر بیشتر			دورانی یا ضربه‌ای

در جدول ۵-۲ سنگ‌های رسوبی و روش مناسب حفرچال برای آنها قید شده است.

جدول ۵-۲- روش چالزنی مناسب برای انواع سنگ‌های رسوبی

سختی و سایندگی				
ساینده سخت	کم ساینده	ساینده نرم	غیر ساینده سخت	غیر ساینده نرم
نوع سنگ	چخماق (فلینت)	توف	ماسه سنگ	سنگ آهک
	چرت	سنگ آهک		مارن
	کری واک			شیل
	کنگلومرای کوارتزار			زغال سنگ
روش چالزنی	ضربه‌ای سنگین	ضربه‌ای نیم - سنگین دورانی سنگین	دورانی سبک	ضربه‌ای متوسط تا سنگین دورانی سنگین

در جدول ۶-۲ انواع سنگ‌های دگرگونی و روش حفرچال در آنها معرفی شده است. برای این نوع سنگ‌ها دو نوع چالزنی ضربه‌ای و دورانی پیشنهاد شده است.

جدول ۶-۲- روش چالزنی مناسب برای سنگ‌های دگرگونی

سختی و سایندگی			
ساینده	متوسط	نرم	
نوع سنگ	گرانولیت (گرانیت دگرگون شده)	میکاشیست	لوح (slate)
	کوارتزشیست		مرمر
	کوارتزیت		فیلیت
	گنیس		
روش چالزنی	ضربه‌ای سنگین	ضربه‌ای سنگین یا متوسطه - دورانی سنگین یا متوسط در سنگ نرم	

خودآزمایی

- ۱- روش‌های حفر چال را نام برده و توضیح دهید.
- ۲- تجهیزاتی که جهت حفر چال می‌شناسید نام ببرید و کارکرد هر یک را مختصراً توضیح دهید.
- ۳- مکانیسم پرفوراتور را توضیح دهید.
- ۴- پیک چیست و روند کارکرد آن را توضیح دهید.
- ۵- انواع دستگاههای چالزنی ضربه‌ای را نام ببرید و کارکرد هر کدام را مختصراً توضیح دهید.
- ۶- مته چیست و اجزای آن را نام ببرید با رسم شکل.
- ۷- اهمیت بازوی حفاری چیست؟
- ۸- چالزنی به روش D.T.H. را کاملاً توضیح دهید.
- ۹- اساس کار چالزنی D.T.H. چیست و میزان قطری که می‌تواند این دستگاه بزند چقدر است؟
- ۱۰- چالزنی دورانی را توضیح دهید.