یادآوری[1]

خواص سنگ‌ها و مواد معدنی از نظر حفر

آشنایی

انتخاب روش حفر و تهیهٔ 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[2]

مقاومت سنگ را در برابر خراش می‌توان به عنوان سختی آن بیان کرد.

برای اندازه‌گیری سختی سنگ، در صورتی‌که از کانی واحدی تشکیل شده باشد، می‌توان از جدول سختی موس[3] 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 به‌وسیله مته مشابهی حفر کرد. بدیهی است هرچقدر عمق چال احداث شده در سنگ کمتر باشد، سختی آن زیادتر خواهد بود.

خواص ارتجاعی[4]

الاستیسیته، خاصیت تغییر شکل سنگ در برابر تأثیر نیروهای خارجی و برگشت‌پذیری آن به حالت اولیه (پس از رفع نیرو) است.

هرگاه یک فنر را از دو طرف بکشیم، طول آن اضافه می‌شود و مادامی‌که آن‌را آزاد نکرده‌ایم، به همین حال باقی خواهد ماند. هنگامی که فنر را آزاد کنیم، دوباره به‌حال اول برمی‌گردد. به عبارت دیگر، فنر دارای خاصیت ارتجاعی یا برگشت‌پذیری 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 ــ از این قسمت سؤالی در امتحان طرح نخواهد شد.

۲ ــ Hardness ۳ ــ Mohs ۴ ــ Elasticity

سفتی[1]

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[2] 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 حالی‌که سنگی با همان ترکیب ذرات، دارای سیمان آهکی باشد، سفتی آن کمتر خواهد بود.

تخلخل[3]

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[4]

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

هرگاه به یک قطعه شیشه ضربه‌ای وارد کنیم، به قطعات ریز تقسیم خواهد شد درصورتی‌که 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.

شکل‌پذیری[5]

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

۱ــ Rigidit
۲ــ Viscosity
۳ــ Porosity
۴ــ Brittleness
۵ــ Plasticity

شکسته شدن، تغییر شکل پیدا کنند. سنگ‌های سخت، تحت شرایط معمولی چنین خاصیتی ندارند اما سنگ‌های رسی از قبیل شیل و سنگ رس[1] و بعضی سنگ‌های دیگر، که مقدار قابل‌توجهی رس دارند، این خاصیت را دارا هستند.

مقاومت[2]

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

از آن‌جا که مقاومت در حالت کلی بیان کننده 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 صفحه‌بعد درج شده است.

برای تعیین مقاومت فشاری سنگ‌ها براساس این جدول، باید ضریب مقاومت را در $۱۰۰ kg/cm^۲$ ضرب کرد تا مقاومت سنگ به دست آید. مثلاً ضریب مقاومت شیل ماسه‌دار، ۵ است، بنابراین مقاومت فشاری آن خواهد شد :

$$۵ \times ۱۰۰ = ۵۰۰ kg/cm^۲$$

به‌وسیلهٔ 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[3]

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.

۱ــ Clay stone ۲ــ Strength ۳ــ Joints

طبقه‌بندی سنگ‌ها براساس میزان مقاومت

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

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

لایه‌بندی[1]

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 خردکردن آن ابزاری 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 شکسته‌شدن سنگ دارد. ابزارها یا منابع تأمین نیروی لازم برای شکستن سنگ به شرح زیر است :

ـ نیروی انسانی ـ ماشین آلات ـ 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 ـ 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 ـ 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 ؛ به‌علاوه، 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 خردکردن توده‌سنگ‌های سست مناسب هستند. اگر چه ماشین‌آلات جدیدی ساخته شده‌اند که برای حفر تونل کارآیی زیادی دارند و با بهره‌دهی بالا این کار را انجام می‌دهند اما باید اعتراف کرد که ماشین‌های تونل کن 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 جداکردن 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 هرنوع سنگ قدرت کافی دارند و در هر شرایطی از قبیل تونل، کارگاه استخراج، شکستن سنگ در زیر آب، فضای کوچک، فضای بزرگ و هرجا 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 می‌شدند. 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 جابجاکردن 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 امّا 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 سالانهٔ 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، آتشکاری و حفاری می‌پردازیم.

بخش اوّل

چالزنی

فصل اوّل

حفر چال

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ چال را تعریف کند.

۲ــ مشخصات چال را بیان نماید.

۳ــ هدف‌های حفرچال را توضیح دهد.

۴ــ روش‌های حفرچال را با ذکر تجهیزات مربوط تشریح کند.

۵ــ عوامل مؤثر در سرعت حفرچال را تشریح نماید.

۶ــ با چند جدول مفید برای چالزنی آشنایی یابد.

۷ــ نکته‌های ایمنی در حفر چال را توضیح دهد.

حفرچال[۱]

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

۱ــ۱ــ تعریف چال[۲]

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

---

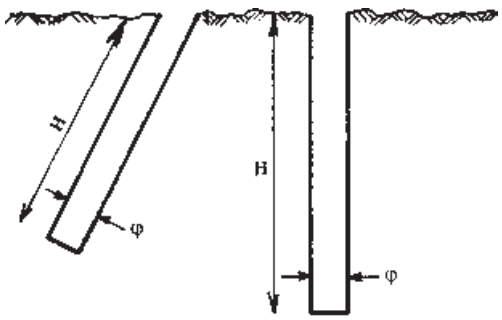
۱ ــ Driling ۲ ــ Hole

۲ــ۱ــ مشخصات چال

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

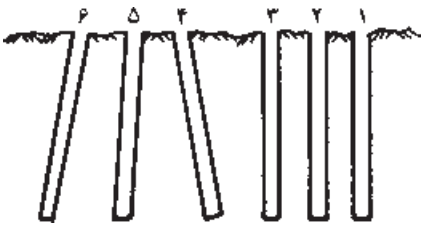
۱ــ۲ــ۱ــ قطرچال: قطرچال تابع طرحی است که هدف حفرچال را تعیین می‌کند هرچه قطرچال کمترباشد، حفرچال راحت‌تر است؛ زیرا می‌توان آن را با دستگاه کوچک‌تری حفرکرد. به‌طور کلی، در عملیات چالزنی و آتشکاری هرچه قطر چال بیشتر باشد، هزینه عملیات کمتر خواهد بود. قطرچال برابر قطر سرمته‌ای است که چال را با آن حفر کرده‌اند. 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 ۱ــ۱).

۲ــ ۲ــ ۱ــ 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 ۵متر، برای معدن‌های روباز تا ۵۰ متر، برای نمونه‌گیری تا ۱۰۰متر است. درشکل ۱ــ۱ طول چال با علامت H مشخص شده است.



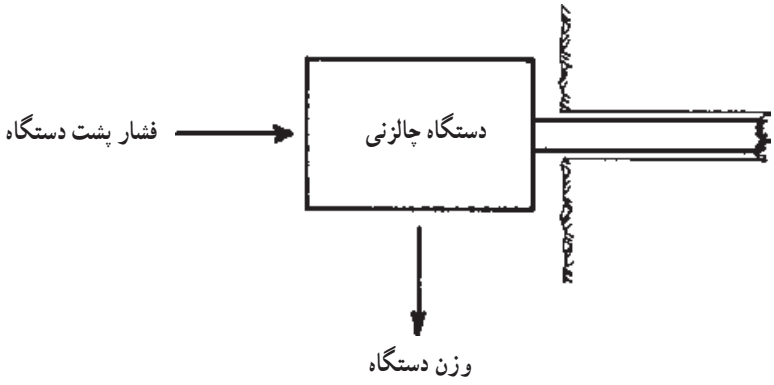
شکل ۱ــ۱ــ نمایش قطر چال (φ) و طول چال (H)

۳ــ۲ــ۱ــ امتداد چال: چال‌ها باید تا حد ممکن مستقیم حفر شوند؛ زیرا وجود چال‌های منحرف عملیات انفجار را از کنترل خارج می‌کند. در شکل ۲ــ۱چال‌های 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 به‌صورت قطعات درشت شکسته می‌شود یا ممکن است اصلاً شکسته نشود.



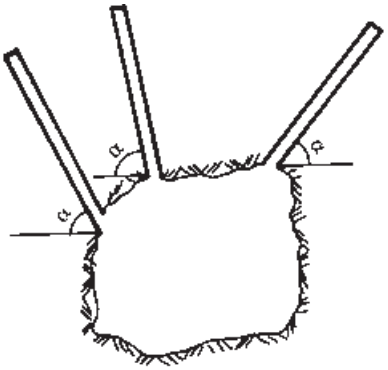
شکل ۲ــ۱ــ چال‌های شماره ۴ و ۵ و ۶ از وضعیت قائم منحرف شده‌اند.

باید توجه داشت که تنها وزن دستگاه حفاری موجب انحراف چال نمی‌شود بلکه مجموعه نیروهای وارد به دستگاه شامل وزن، نیروهای فشاری و نگهدارندهٔ 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 این‌که ثابت‌ماندن امتداد چال بسیار اهمیت دارد، در ساخت ماشین‌آلات چالزنی بسیار کوشیده شده است تا از میزان انحراف چال‌ها کاسته شود. شکل ۳ــ۱ اثر امتداد نیروها را در انحراف چال نشان می‌دهد.

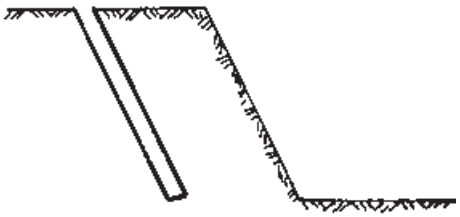


شکل ۳ــ۱ــ نیروهای مؤثر در انحراف چال

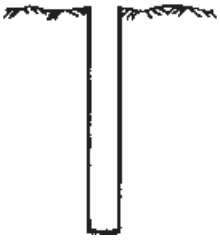
۴ــ۲ــ۱ــ شیب چال: شیب چال، یعنی زاویه‌ای که چال با سطح افقی می‌سازد. در معادن، چال‌ها را به یکی از صورت‌های شکل ۴ ــ۱ حفر می‌کنند. شیب چال را با شیب‌سنج اندازه می‌گیرند. طرز عمل به این ترتیب است که میله‌ای مستقیم را داخل چال قرار می‌دهند، به‌گونه‌ای که حدود یک متر آن از چال بیرون باشد. شیب‌سنج را روی این قسمت قرار می‌دهند و شیب چال را اندازه‌گیری می‌کنند (شکل ۵ ــ۱).



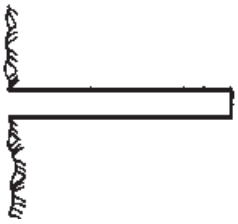
شیب‌دار سربالا



شیب‌دار سرازیر

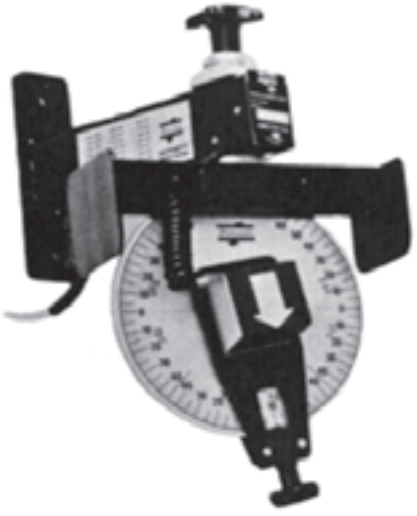


قائم



افقی

شکل ۴ــ۱ــ نمایش انواع مختلف شیب چال. زاویه شیب با α نشان داده شده است.



شکل۵ــ۱ــ 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.

۵ــ۲ــ۱ــ حجم چال: چال استوانه‌ای شکل است ؛ بنابراین، محاسبه حجم آن به آسانی انجام می‌شود اگر φ قطر چال و H طول آن باشد، حجم چال برابر است با : $\pi.\frac{\varphi^2}{4}.H$ اما در عمل حجم چال اندکی بیش از این مقدار است ؛ زیرا دیواره چال ناصاف می‌شکند و قطر چال در بعضی نقاط از قطر سرمته 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.

۳ــ۱ــ هدف‌های حفر چال

حفر چال برای منظورهای مختلفی به‌شرح زیر صورت می‌گیرد :

۱ــ۳ــ۱ــ حفرچال برای استخراج مواد معدنی: به دلیل تغییر شرایط کار و خواص سنگ‌های معدنی قطر چال در استخراج مواد معدنی از ۳۰ تا ۷۰۰میلی‌متر و طول آن از ۱تا ۵۰متر می‌رسد.

۲ــ۳ــ۱ــ حفرچال 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 حفرچال و انفجار، تحقق می‌یابد. در این‌گونه کارها یکی از هدف‌های عمده این‌است که سطح جانبی فضای باقی‌مانده حتی‌الامکان 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 ۶۴میلی‌متر و طول چال‌ها از ۰/۵ متر تا ۱۵متر تغییر می‌کند.

۳ــ۳ــ۱ــ حفرچال برای هدف‌های مختلف نیز صورت می‌گیرد

این هدف‌ها عبارتند از :

ــ نصب پیچ‌کوه یا پیچ‌سنگ[۱] برای پایداری سقف کارهای زیرزمینی.

ــ حفرچاه آب که خود می‌تواند به منزلهٔ یک چال باشد.

ــ اکتشاف مواد معدنی، زیرا هنگام حفرچال سنگ‌های مسیر چال خرد می‌شوند و به‌صورت خرده‌ریزه سنگ از دهانه چال بیرون می‌آیند.

۱ــ Rock Bolt

ـ تثبیت ایستگاه‌های نقشه‌برداری زیرزمینی.

در موارد بالا برحسب نیاز قطر چال‌ها از ۳۰ تا ۷۰۰میلی‌متر و عمق آنها از ۱۰سانتی‌متر تا ۷۰متر تغییر می‌کند.

خودآزمایی

۱ـ چال چیست؟

۲ـ مهم‌ترین هدف از حفر چال چیست؟

۳ـ عوامل و مشخصهٔ چال کدامند و هر یک را توضیح دهید.

۴ـ به چه‌منظورهایی چال حفر می‌گردد و بطورکلی هدف‌های حفر چال را توضیح دهید.

فصل دوم

روش‌ها و تجهیزات حفر چال

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ روشهای حفر چال را بیاموزد.

۲ــ تجهیزات حفر چال را شناسایی کند.

۳ــ مته‌های حفر چال را شناسایی کند.

۴ــ چال‌زنی به روش D.T.H را تشریح نماید.

۵ــ عوامل مؤثر در سرعت حفرچال را بازگو نماید.

روش‌ها و تجهیزات حفر چال

۱ــ۲ــ 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 به‌کمک آنها می‌توان سنگ‌چال را به‌صورت 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 خردکردن سنگ یا چالزنی موجود است :

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

ب : با خراشیدن سنگ آن‌را خرد کنیم. این روش را «چالزنی دورانی»[۲] می‌گویند. چالزنی دورانی شباهت زیادی به کار مته‌های نجاری دارد.

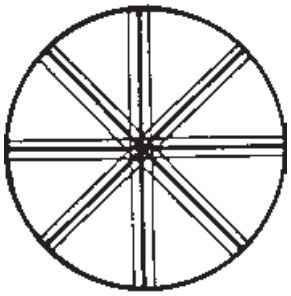
۱ــ Percussion drilling ۲ــ Rotary drilling

۲ــ۲ــ چالزنی ضربه‌ای

اساس کار چالزنی ضربه‌ای به شرح زیر است :

سرمته‌ای را روی سنگ می‌گذاریم و به انتهای آن ضربه‌ای وارد می‌کنیم. در اثر این ضربه، سرمته مختصری در سنگ فرو می‌رود و شکافی در آن به‌وجود می‌آورد. معادل حجم این شکاف سنگ می‌شکند. چنانچه سرمته 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 سرمته ادامه دهیم، در نهایت استوانه‌ای با قطری معادل سرمته و عمق شکاف در سنگ به‌وجود می‌آید(شکل ۱ــ۲ و ۲ــ۲). 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 ۱۶۰دور در دقیقه و تعداد ضربه‌ها برحسب نوع پرفوراتور تا ۳۰۰۰ضربه در دقیقه می‌رسد. در شکل ۱۲ــ۲ چند نوع پرفوراتور را مشاهده می‌کنید. در چالزنی ضربه‌ای، خرده‌ریزهای حفاری به‌وسیلهٔ هوای فشرده یا آب تحت فشار از چال خارج می‌شود.

شکل ۱ــ۲ــ حفر چال با قلم و چکش



شکل ۲ــ۲ــ 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.

۱ــ۲ــ۲ــ 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، به‌دلیل رعایت نکته‌های ایمنی هنوز هم کاربرد ماشین‌آلات هوای فشرده چالزنی بیش از انواع برقی آن است. بدین جهت به‌شرح ماشین‌هایی می‌پردازیم که با هوای فشرده کار می‌کنند. بهترین وسیله‌ای که به‌کمک آن می‌توان مکانیسم ضربه‌زدن را شرح داد، کلنگ مکانیکی یا پیک است.

۲ــ۲ــ۲ــ پیک (Pic): معدنکاران به‌این 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 پی‌درپی به انتهای قلم وارد می‌شود که به‌وسیلهٔ نوک قلم به سنگ منتقل شده سبب شکسته شدن آن می‌شود. تعداد ضربه‌ها برحسب نوع کلنگ از ۱۰۰۰تا ۱۶۰۰عدد در دقیقه است . پیک یا کلنگ مکانیکی با هوای فشرده کار می‌کند. مصرف هوای فشرده برحسب نوع کلنگ متفاوت و از ۲۰تا 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 شماره۱ وارد دستگاه می‌شود ؛ دریچه شماره ۲ را می‌بندد و به پیستون P فشارمی‌آورد ؛ پیستون P تحت تأثیر هوای فشرده به جلو حرکت می‌کند.

شکل ۳ــ۲ــ چند نوع پیک

انواع پیک (پیکور): پیک یا کلنگ مکانیکی را در اندازه و وزن‌های مختلف می‌سازند. در جدول ۱ــ۲ بعضی مشخصات چند نوع پیک ساخت اطلس کوپکو را مشاهده می‌کنید با مراجعه به جدول ۱ــ۲ می‌توان نوع پیک را برای کار موردنظر انتخاب کرد. هرچه سنگ سخت‌تر باشد، پیک را باید سنگین‌تر 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. بزرگ‌ترین دستگاهی که در جدول آمده است، ۳۵/۵کیلوگرم وزن دارد اما در عمل ممکن است به دستگاه‌های بزرگ‌تر و قوی‌تری نیاز باشد ؛ مثلاً یکی از مسائل عمده هر آتشکاری به‌وجود آمدن قطعه‌های بزرگ سنگ است. این سنگ‌ها به‌اندازه‌ای هستند که بارگیری آنها مقدور نیست یا سنگ‌شکن نمی‌تواند آنها را بپذیرد. لازم است قطعه سنگ‌های یاد شده دوباره شکسته شوند. این کار را با چالزنی و آتشکاری نیز می‌توان انجام داد اما وقتی که تعداد قطعه‌های سنگ زیاد باشد، از پیک‌های بسیار بزرگ استفاده می‌شود. نمونه‌ای از این نوع پیک‌ها در شکل ۴ــ۲ نشان داده شده است که در واقع پیکی بزرگ به‌وزن ۳۰۰ کیلوگرم است که روی یک شاسی متحرک سوار

شده است. این دستگاه برای تخریب ساختمان‌های کهنه نیز به‌کار می‌رود. قلم پیک مزبور در شکل ۵ــ۲ نشان داده شده است.

شکل ۴ــ۲ــ پیک بزرگ در هر دقیقه ۵ تا ۱۰ ضربه وارد می‌کند.

مطالعهٔ آزاد

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

شکل ۵ــ۲ــ قلم‌های پیک بزرگ مربوط به شکل ۱۱ــ۳

جدول ۱ــ۲ــ مشخصات چند نوع پیک ساخت اطلس کوپکو

وزن کیلوگرم	طول میلی‌متر	قطر پیستون میلی‌متر	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

۳ــ۲ــ۲ــ انواع دستگاه‌های چالزنی ضربه‌ای: برحسب ساختمان داخلی و طرز کار، دستگاه‌های چالزنی ضربه‌ای به انواع زیر تقسیم می‌شوند :

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

ــ پرفوراتور هوای فشرده با حرکت دورانی مستقل

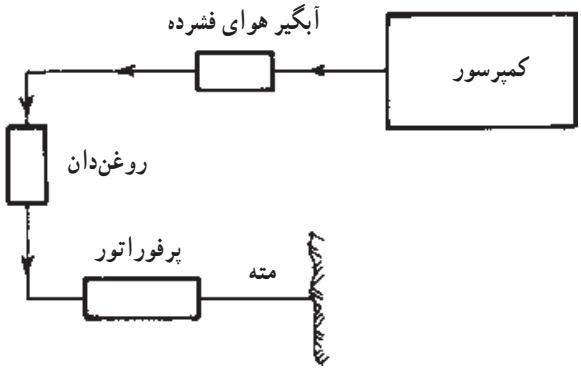
پرفوراتور هیدرولیکی با حرکت دورانی مستقل: این نوع پرفوراتورها نیز با هوای فشرده کار می‌کنند اما انتقال انرژی در درون آنها با روغن هیدرولیکی صورت می‌گیرد.

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 سرمته حرکت می‌کند.

۴ــ۲ــ۲ــ اجزای چالزنی ضربه‌ای: برای راه انداختن یک پرفوراتور به منظور حفرچال، اجزای زیر لازم است شکل(۶ــ۲) :

ــ کمپرسور یا مرکز تولید هوای فشرده
ــ شیلنگ برای اتصال کمپرسور به روغن‌دان و روغن‌دان به پرفوراتور
ــ پرفوراتور یا دستگاه چالزنی
ــ مته
ــ نگهدارنده پرفوراتور که با اسامی پایه و بازو معرفی می‌شود.

درباره کمپرسور، شیلنگ و انتقال هوای فشرده تا پرفوراتور در درس‌های دیگر توضیح داده خواهد شد. در این‌جا اضافه می‌کنیم که هوای فشرده باید از روغن‌دان محتوای روغن عبور کند و سپس وارد پرفوراتور شود. این عمل برای روغنکاری قطعات متحرک پرفوراتور ضروری است. اینک به شرح سایر اجزای چالزنی ضربه‌ای می‌پردازیم.



شکل ۶ــ۲ــ اجزای چالزنی ضربه‌ای

ــ 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 می‌کند. مته از سه جزء ته‌مته، میله‌مته و سرمته تشکیل می‌شود. اگر این سه جزء به‌هم چسبیده باشند، مته را «مته یکپارچه» یا مته «یک‌تکه» می‌نامند و اگر از هم جدا شوند، مته را « چندتکه» می‌گویند.

الف ــ مته یکپارچه: اجزای مته یک‌پارچه مطابق شکل۷ــ۲ به این شرح است :

ته‌مته[1]: این قسمت در پرفوراتور فرو می‌رود و به مته‌گیر وصل می‌شود. ضربه‌های پیستون از ضربه‌زن چکش حفاری به این بخش از مته وارد می‌شود.

---

۱ ــ Shank

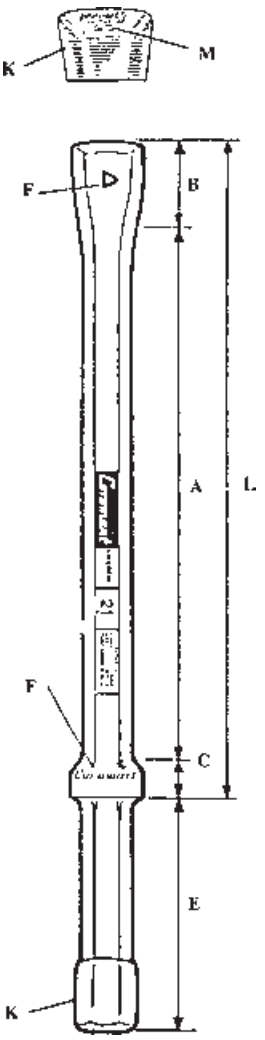
میله مته[1]: این قسمت میان ته و سرمته قرار دارد و وظیفه آن انتقال ضربه از ته مته به سر آن و حفظ ارتباط میان این دو است.

سر مته[2]: این قسمت به سنگ تکیه دارد و وظیفه آن سوراخ کردن سنگ است.

اجزای مته به‌وسیلهٔ سوراخی محوری با هم ارتباط دارند. هوای فشرده یا آب تحت فشار از این سوراخ به سرمته می‌رسد و در این جا دو وظیفه مهم را انجام می‌دهد.

ــ سرمته را خنک می‌کند؛

ــ خرده‌ریزهای حفاری را از فاصله بین جدار چال و میله مته از چال خارج می‌سازد. همیشه باید قطر میله‌مته از قطر سرمته کمتر باشد تا خرده‌ریزهای حفاری فضایی لازم را برای خارج شدن از چال داشته باشند (شکل ۸ ــ۲).



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

شکل ۷ــ۲ــ اجزای مته یک پارچه

شکل ۸ ــ۲ــ خارج شدن خرده‌ریزه حفاری از فضای بین میله مته و چال

۱ ــRod ۲ ــBit

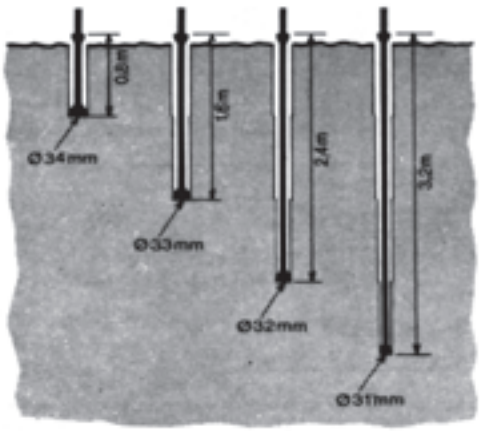
انواع مته یکپارچه را در شکل ۹ــ۲ می‌بینید. طول مته‌های یکپارچه در کارخانه‌های مختلف متفاوت و معمولاً از ۸۰ سانتی‌متر تا ۴ متر است. منظور از طول مته طول مفید آن است که فاصله بین انتهای مته تا سر آن به‌حساب می‌آید. معمولاً هرچه مته یکپارچه درازتر باشد، قطر آن کمتر است. برای حفرچال ۴متری نباید ابتدا حفاری را با مته ۴متری آغاز کرد؛ بلکه کار با مته ۸۰ سانتی‌متری آغاز می شود و سپس آن را با مته ۱/۲۰متری عوض می‌کنند و حفر چال را ادامه می‌دهند. به همین ترتیب هر مته با مته بزرگ‌تر از خود تعویض می‌شود تا حفرچال به پایان برسد (شکل ۱۰ــ۲).

مته یک پارچه با سر مته یک پهلو قطر ۲۳ تا ۳۵ میلی‌متر طول ۰/۴ تا ۴ متر

مته یک پارچه با سر مته چهار پهلو قطر ۲۷ تا ۳۸ میلی‌متر طول ۱/۱۰ تا ۴ متر

مته یک پارچه با سر مته یک پهلو قطر ۳۳ تا ۳۶ میلی‌متر طول ۰/۸ تا ۳/۲ متر

شکل ۹ــ۲ــ انواعی از مته‌های یک پارچه



شکل ۱۰ــ۲ــ ازدیاد طول چال و کم‌شدن قطر سرمته

ب ــ مته چند تکه: با مته‌های یکپارچه بیش‌ترین عمق چال می‌تواند ۴متر باشد اما می‌دانیم که بسیاری از کارهای معدنی به حفرچال‌هایی عمیق‌تر نیاز دارد ؛ به‌علاوه، حفرچال با تعویض پی‌درپی مته‌ها بسیار وقت‌گیر است ؛ به این دلیل، برای حفرچال‌های عمیق ازمته‌های چند تکه استفاده می‌شود. اجزای مته‌های چند تکه در شکل ۱۱ــ۲ نشان داده شده است. این اجزاء عبارتند از :

ــ ته مته که درون چکش حفاری یا پرفوراتور قرار می‌گیرد.

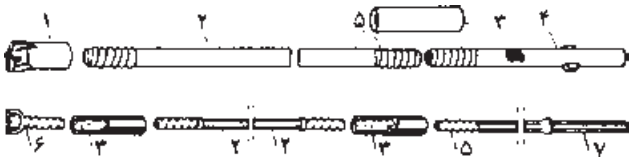
ــ کوپلینگ که اتصال بین میله‌های مته را با هم و میله مته را با ته مته و سر آن برقرار می‌کند.

ــ میله مته که هر دو طرف آن حدیده شده و به کوپلینگ وصل می‌شود.

ــ سرمته که همیشه به انتهای میله مته آخری وصل می‌شود.

با اضافه کردن تعداد کوپلینگ و میله‌مته می‌توان چال را با طول دلخواه حفرکرد.

البته شروع کار با یک میله‌مته است. پس از اینکه چال تا انتهای میله حفر می شود، پرفوراتور و ته‌مته 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 تا۳ متر است و زمانی که صرف اضافه کردن آن به سیستم چالزنی می‌شود ، کمتر از تعویض مته‌های یکپارچه است.



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

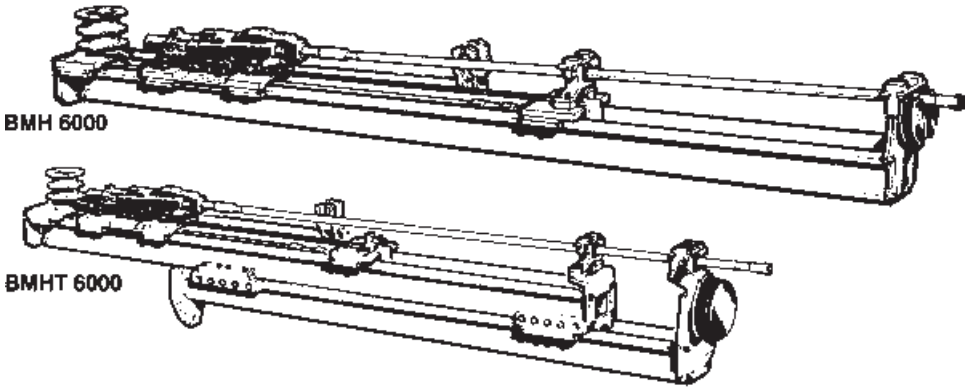
شکل ۱۱ــ۲ــ اجزای مته و میله مته برای حفر چال‌های عمیق

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

در مورد چال‌های قائم و رو به پایین وزن چکش و مته‌ها به نیروی فشاری کمک می‌کند ولی به‌علت 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 حفرچال 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 حفرچال است. در شکل۱۲ــ۲ یک بازوی کشویی را، در حالی که چکش حفاری روی آن سوار شده است، مشاهده می‌کنید.

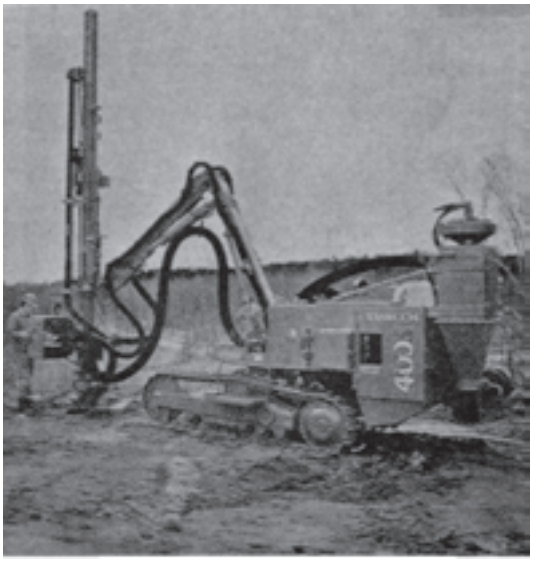


شکل ۱۲ــ۲ــ دو نوع بازوی حفاری که پرفوراتور روی آن‌ها نصب شده است.

در عمل، بازوی کشویی و پرفوراتور را روی یک شاسی متحرک سوار می‌کنند و مجموعه دستگاه را به نام‌های « واگن‌دریل» و «جامبو» می‌نامند. واگن دریل برای حفرچال در معادن روباز و جامبو برای حفرچال در معادن زیرزمینی به‌کار می روند. جابجایی و حفرچال این ماشین‌آلات با هوای فشرده صورت می‌گیرد. برای جلوگیری از ایجاد گردوخاک هنگام چالزنی ، واگن دریل‌ها مجهز به دستگاه گردگیر هستند. دستگاه گردگیر در حقیقت یک پمپ مکنده است که یک سر آن در دهانه چال قراردارد و سر دیگر آن به مخزنی برای انباشتن گردوخاک مربوط می‌شود. با استفاده از این مخزن، علاوه بر این که از ایجاد گردوخاک جلوگیری می‌شود، می‌توان خرده سنگ‌های انبارشده را به‌عنوان نمونه سنگ زیرزمین در نظر گرفت. چند نوع واگن دریل و جامبوهای زیرزمینی را در شکل ۱۳ــ۲ ملاحظه می‌کنید.

الف ــ جامبوی Cavodrill ساخت اطلس کوپکو با یک بازوی حفاری

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



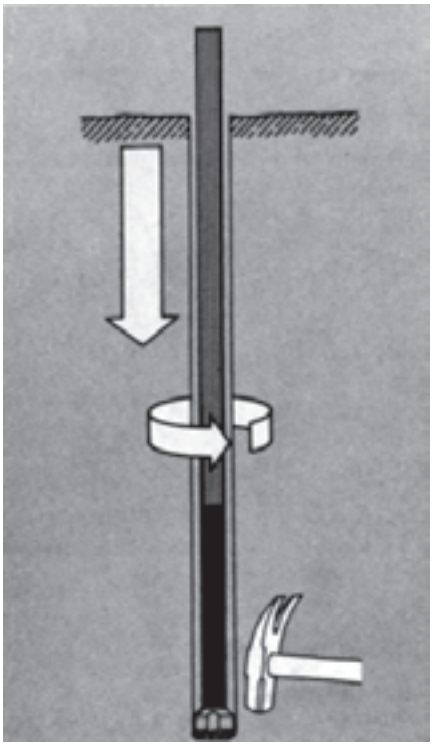
ج ــ واگن دریل 400S ساخت تامراک با بازوی تاشو در حال حفر چال قائم

د ــ جامبوی Boomer ساخت اطلس کوپکو با ۲ بازوی حفاری

هـ ــ واگن دریل 500S ساخت تامراک در حال حفر چال

شکل ۱۳ــ۲ــ ماشین آلات چال‌زنی بزرگ

۵ــ ۲ــ ۲ــ چالزنی به روش D.T.H (Down The Hole): در این روش، قسمت ضربه‌زن پرفوراتور یا چکش چالزنی که پیش ازاین تحت عنوان پیستون از آن یادکردیم، در ته چال قرارمی‌گیرد و به‌طور مستقیم روی سرمته ضربه می‌زند. چون در این حالت واسطه‌ای بین سرمته و ضربه‌زن وجودندارد، مقداری چشمگیر از وزن مته حذف می‌شود و از اتلاف انرژی کاسته خواهد شد. (شکل۱۴ــ۲).



شکل ۱۴ــ۲ــ اصول چالزنی با روش D.T.H. چالزنی .D.T.H

اساس کار چالزنی .D.T.H مطابق شکل ۱۵ــ۲ و به‌شرح زیر است :

۱ــ موتور چرخاننده ضربه‌زن و سرمته که به‌وسیله آن چرخش سرمته تأمین می‌شود.

۲ــ گیره برای هدایت لوله‌های رابط که در حکم میله چالزنی هستند.

۳ــ موتور تأمین‌کننده نیروی فشاری پشت مته.

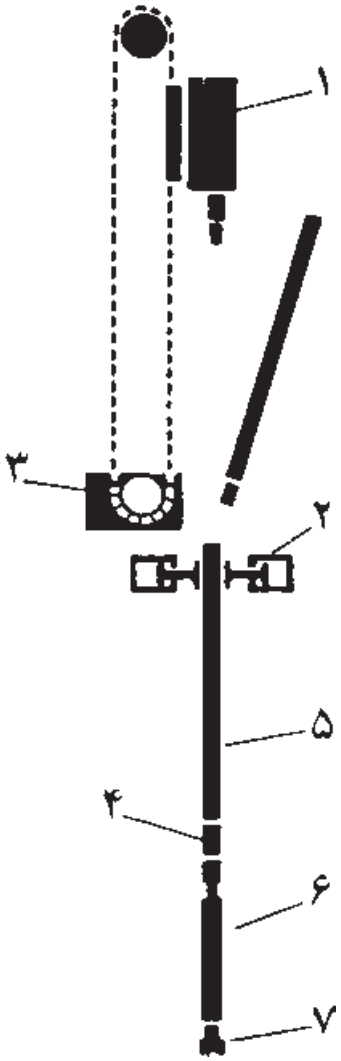
۴ــ کوپلینگ برای اتصال میله‌های چالزنی به هم(لوله‌های رابط).

۵ــ لوله رابط.

۶ــ دستگاه ضربه‌زن.

۷ــ سرمته.

با روش D.T.H. چال‌هایی به قطر ۸۰تا ۷۰۰میلی‌متر حفر می‌کنند . موتورهای ۱،۳و۶ به انرژی نیاز دارند. در دستگاه‌های کوچک هر سه موتور با هوای فشرده کار می‌کنند اما در دستگاه‌های بزرگ، انرژی مورد نیاز موتورهای ۱و۳ 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 ۱۵ــ۲ــ اجزای حفر چال با روش D.T.H.

مقطع دستگاه ضربه‌زن و سرمته را در شکل ۱۶ــ۲ مشاهده می‌کنید.

مطالعهٔ آزاد

دستگاه ضربه زن و سرمته

مقطع دستگاه ضربه زن و سرمته

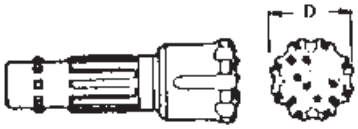
شکل ۱۶ــ۲ــضربه‌زن و سر مته در چالزنی .D.T.H

شکل ۱۷ــ۲ سرمته چالزنی .D.T.H را نشان داده است. حداقل قطر سرمته‌ها ۸۰میلی‌متر است و به شکل‌های مختلف صلیبی، ضربدری و دکمه‌ای وجود دارد .

صلیبی به قطر ۸۰ تا ۱۱۵ میلی‌متر

دکمه‌ای به قطر ۸۰ تا ۱۱۵ میلی‌متر

ضربدری به قطر ۱۵۲ تا ۱۶۵ میلی‌متر



دکمه‌ای به قطر ۱۵۲ تا ۲۱۶ میلی‌متر

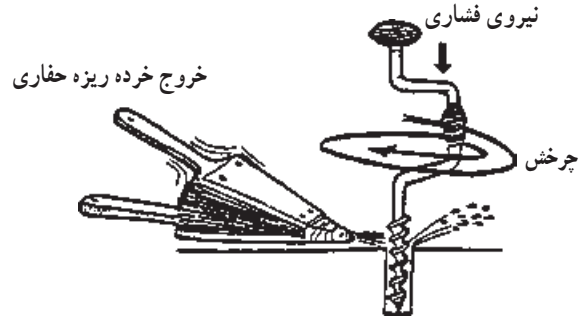
دکمه‌ای به قطر ۱۵۲ تا ۳۰۴ میلی‌متر

شکل ۱۷ــ۲ــ انواع سرمته‌های چالزنی با روش .D.T.H

۶ــ۲ ــ۲ــ چالزنی دورانی[۱]: در این روش حفرچال، سرمته روی سنگ فشرده شده و چرخش آن سبب خراشیده شدن سنگ می‌شود. شکل ۱۸ــ۲ خرده‌ریزهای سنگ را با هوای فشرده از چال خارج می‌کنند. چالزنی دورانی در معادن بزرگ روباز 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 به‌کار 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 به‌کار می‌رود؛ زیرا سرعت زیاد چرخش سرمته سبب می‌شود که امکان گیرافتادن آن کاهش یابد. هوای فشرده از راه سوراخ وسط میله‌های مته به سرمته می‌رسد و علاوه برخنک کردن آن موجب خارج شدن خرده‌ریزه حفاری از چال می‌شود. برای جلوگیری از ایجاد گردوخاک می‌توان به جای هوای فشرده از آب نیز استفاده کرد. یک دستگاه چالزنی دورانی شامل قسمت‌های زیر است (شکل ۱۹ــ۲):

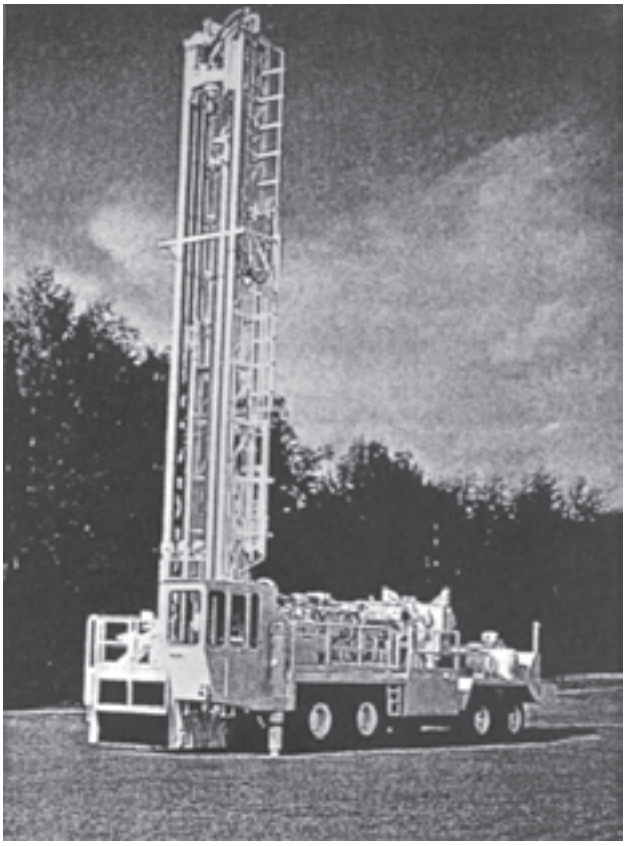
ــ دکل حفاری که نگهدارنده میله‌های حفاری است و آنها را به‌طرف چال هدایت می‌کند.
ــ موتور دیزل یا برقی برای حمل و نقل دستگاه
ــ کمپرسور برای تولید هوای فشرده
ــ موتور چرخاننده میله‌های حفاری که روی دکل نصب می‌شود.
ــ کابین کنترل حفار

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 ۱۸ــ۲ــ اصول چالزنی دورانی

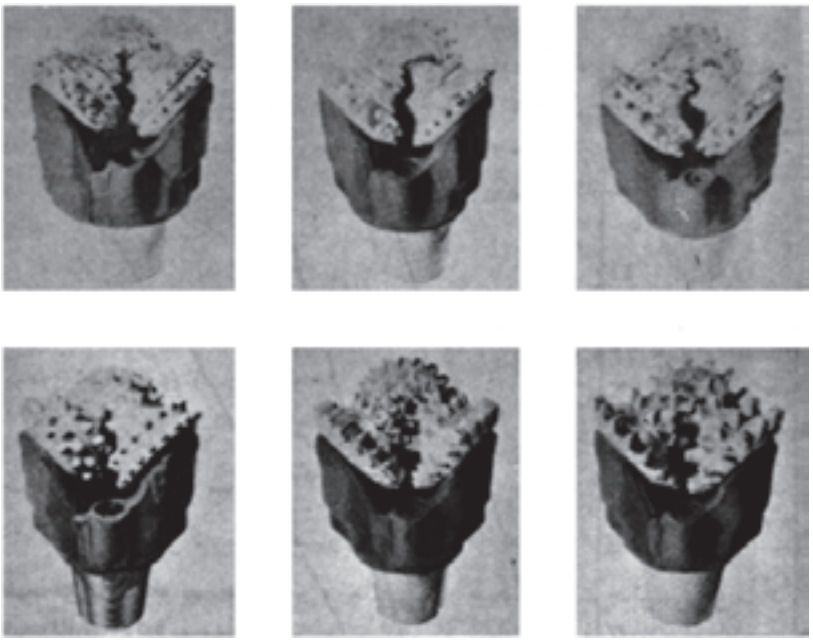
۱ــ Rotary drilling



شکل ۱۹ــ۲ــ 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 حفرچال 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 ۲۰ــ۲ مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۰ــ۲ــ انواع سر مته‌های چالزنی دورانی

مطالعهٔ آزاد

۳ــ۲ــ عوامل مؤثر در سرعت حفرچال

در معدن‌کاری یا هرگونه عملیات آتشکاری و انفجار، حفرچال بخش بزرگی از کار را تشکیل می‌دهد ؛ مثلاً در حفر یک تونل اکتشافی معدن که دارای مساحت مقطع ۵مترمربع است، برای هر متر پیشروی تونل بسته به نوع سنگ باید از ۵تا ۲۰عدد چال در سینه کار حفر کرد. اگر به طور متوسط تعداد چال‌ها را ۱۲عدد در نظر بگیریم، برای یک متر پیشروی تونل دست کم باید ۱۲متر چال حفر شود. این عدد در مورد تونل‌های بزرگ مثل تونل راه و راه‌آهن به ۱۳۰متر می‌رسد ؛ یعنی برای حفر ۱۰۰۰متر تونل بزرگ باید ۱۳۰۰۰متر چال حفر کرد. در یک معدن روباز سنگ آهک که چال‌هایی به قطر۳اینچ و با آرایش ۳متر× ۳ متر حفر می‌شوند، به ازاء هر متر چال حدود ۲۰تن ماده معدنی به‌دست می‌آید. حال اگر استخراج روزانه این معدن را ۱۵۰۰۰تن در نظر بگیریم، روزانه باید ۷۵۰متر چال در این معدن حفر شود. با توجه به این که راندمان کار هر دستگاه واگن‌دریل به طور متوسط ۱۰۰متر چال درروزاست، همیشه باید حدود ۷یا۸ دستگاه واگن‌دریل در حال چالزنی باشند. از سوی دیگر، راه‌اندازی واگن‌دریل‌ها

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 برخورداراست 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 :

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

ــ دستگاه حفرچال

ــ وضعیت سنگ

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

۱ــ۳ــ۲ــ 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 :

ــ حمل دستگاه حفر چال به محل کار

ــ اتصال دستگاه به هوای فشرده

ــ نصب پرفوراتور روی پایه

ــ اتصال مته به پرفوراتور یا هر نوع دستگاه حفر چال

ــ سرویس‌های اولیه مثل بازدید روغن‌دان، بازدید اتصالی‌ها، آزمایش صحت کار دستگاه

ــ شناسایی محل حفرچال و آشنایی با علائم مربوط

ــ آگاهی از طول، شیب و جهت چال‌ها

ــ روش راه‌اندازی دستگاه

ــ حفرچال

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

ــ رفع گیر از پرفوراتور

ــ هدایت بازوهای چالزنی واگن‌دریل و جامبو

ــ افزودن و کاستن میله مته در دستگاه حفرچال

ـ گریس‌کاری کوپلینگ

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.

۲ـ۳ـ۲ـ دستگاه حفرچال: آنچه که از دستگاه حفرچال در سرعت چالزنی ضربه‌ای و دورانی مؤثرند ، به این شرح است :

الف ـ 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 زیراست :

ـ انرژی ضربه‌ای پیستون

ـ تعداد ضربه‌های پیستون

ـ فشار هوای فشرده

ـ خروج خرده‌ریزه حفاری

ـ 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 سرمته است. همان طور که اشاره کردیم، این زاویه به طور متوسط $\frac{۱}{۱۰}$ دور یا ۳۶درجه 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 سرمته‌اش 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 به‌دستگاه چالزنی کاری کرد که افت فشار در کمترین حد ممکن باشد. بیشتر ماشین‌آلات چالزنی به هوایی با فشار دست کم ۵اتمسفر 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 ؛ به‌علاوه، فاصله بین میله مته و جدار چال به حد کافی باشد تا فضای لازم برای حرکت خرده ریزه‌ها 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 می دهد. مقداری از انرژی وارد شده به مته تا رسیدن به سرمته تلف خواهد شد. تلف شدن انرژی به صورت‌های زیر است :

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

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

تلف شدن انرژی موجب کاهش سرعت حفر چال می‌شود. این امر مخصوصاً در حفرچال‌های طویل به‌خوبی 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 به‌کندی صورت می‌گیرد یا در عمل متوقف می‌شود. در دستگاه‌های چالزنی D.T.H. نظر به این که ضربه‌زن پشت سرمته قراردارد، اتلاف انرژی از این بابت وجود ندارد اما باید در نظر داشت که دستگاه D.T.H. در همه انواع چال‌ها مورد استعمال ندارد ؛ به‌علاوه، بسیار گرانتر از دستگاه‌های

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

ب ــ عوامل مؤثردر سرعت چالزنی دورانی:

ــ نیروی فشاری پشت مته

ــ سرعت دوران سرمته

ــ فرم و شکل سرمته

ــ خروج خرده‌ریزه‌های حفاری

در چالزنی دورانی باید سرمته مقداری در سنگ فرو رود و آن را بتراشد. درست مثل مته‌های نجاری که چوب را سوراخ می‌کنند. برای فرو کردن سرمته 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 ۱۵کیلوگرم است ؛ در حالی که در چالزنی دورانی مقدار نیروی فشاری بسته به نوع سنگ از ۷۰تا ۴۲۰ کیلوگرم است.

سرعت دوران سرمته تابع قطرچال و کیفیت سنگ است. هرچه قطر چال بزرگ‌تر باشد یا هرچه سنگ مقاوم‌تر باشد، سرعت دوران سرمته باید کاهش یابد تا سرمته در مدت زمان کافی با سنگ تماس پیدا کند و قادر به تراشیدن آن بشود. سرعت دوران سرمته با قطرچال مطابق جدول ۲ــ۲ تغییر می‌کند.

جدول ۲ــ۲

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، سرمته های مخصوص به خود را لازم دارد و نمی توان برای آن از سرمته‌های 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، حفرچال متوقف می‌شود.

۳ــ۳ــ۲ــ خواص سنگ‌ها از نظر حفرچال: سنگ‌ها به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند :

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

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

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

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

الف ــ سختی سنگ: سختی هر سنگ ناشی از سختی کانی‌ها و اجزای تشکیل دهنده آن است. یکی از کانی‌های سخت «سیلیس» است که دارای سختی ۷بوده و به وفور در نقاط مختلف زمین و همراه سایر کانی‌ها وجود دارد. هرچه تعداد کوارتز در سنگ بیشتر باشد، قدرت ساینده‌گی آن بیشتر می شود و قطعاتی از ماشین‌آلات معدنی را که با سنگ تماس مستقیم دارند، زودتر فرسوده می‌کند. در مورد سنگ‌های سخت بهتر است حفرچال با روش ضربه‌ای انجام گیرد ؛ زیرا کاربرد روش دورانی به دلیل سایش بیش از اندازه سرمته کُندی و هزینه زیاد در حفرچال را به دنبال خواهد داشت. جدول ۳ــ۲ موجودی کوارتز انواع سنگ‌ها را نشان می‌دهد. با مراجعه به این جدول، میزان ساینده‌گی نسبی انواع سنگ‌ها مشخص می شود. هرجا که سایش زیاد است، بهتر است برای حفرچال از روش ضربه‌ای استفاده شود.

جدول۳ــ۲ــ موجودی کوارتز انواع سنگ‌ها برحسب درصد وزنی

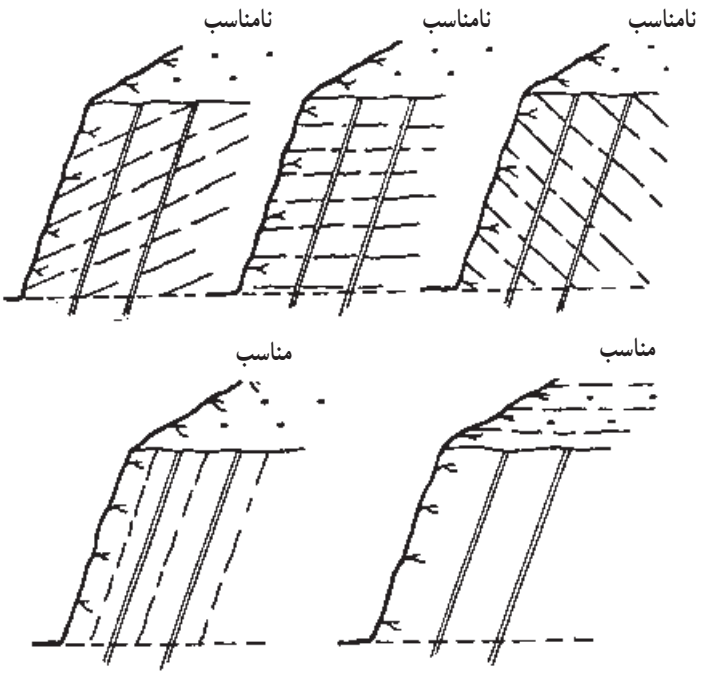
نوع سنگ	درصد وزنی کوارتز	نوع سنگ	درصد وزنی کوارتز
آمفیبولیت	۰ تا ۵	میکاگنیس	۰ تا ۳۰
آنورتوزیت	ــ	میکاشیست	۱۵ تا ۳۵
دیاباز	۰ تا ۵	نوریت	ــ
دیوریت	۱۰ تا ۲۰	پگماتیت	۱۵ تا ۳۰
گابرو	ــ	فیلیت	۱۰ تا ۲۵
گنیس	۱۵ تا ۵۰	کوارتزیت	۶۰ تا ۱۰۰
گرانیت	۲۰ تا ۳۵	ماسه سنگ	۲۵ تا ۹۰
کری واک	۱۰ تا ۲۵	سنگ لوح (slate)	۱۰ تا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

ب ــ 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 دانه‌بندی زیر باشند، با اینکه ترکیب هر چهار نوع آنها یکی است ولی به‌علت تغییر ابعاد دانه‌ها حفرچال در این سنگ‌ها به ترتیب از بالا به پایین(از دانه ریز به دانه درشت) ساده‌تر می‌شود .

کوارتزیت فشرده	با ابعاد دانه‌های	۰/۰۵ میلی‌متر
کوارتزیت دانه ریز	با ابعاد دانه‌های	۰/۵ تا ۱ میلی‌متر
کوارتزیت دانه متوسط	با ابعاد دانه‌های	۱ تا ۵ میلی‌متر
کوارتزیت دانه درشت	با ابعاد دانه‌های	بیش از ۵ میلی‌متر

ج ــ درزه و شکاف: سطح مشترک بین لایه‌ها، درزه و شکاف نقاطی است که به شکستن سنگ کمک می‌کند و با استفاده از آنها در برخی موارد می‌توان شکستن سنگ را به‌راحتی انجام داد اما یادآوری می‌کنیم که چالزنی در سنگ شکافدار به مراتب پردرد سرتر از سنگ‌های بدون درز و شکاف است و بهتر است چال را در جایی حفر کنیم که از شکاف و درزه عبور نکند. شکل ۲۱ــ۲ چند نوع درزه و شکاف و امکان چال‌زنی آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۲ــ محل حفر چال در صورت وجود درزه و شکاف در توده سنگ

۴ــ۲ــ چند جدول مفید برای چالزنی

جدول‌های۳ــ۲، ۴ــ۲ و ۵ــ۲ 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 ۵۰تا۱۰۲میلی‌متر از پرفوراتورهای سنگین و برای حفر چال‌هایی به قطر ۱۰۲ تا ۱۵۰میلی‌متر از ماشین D.T.H. و برای قطر بیش از ۱۵۰میلی‌متر روش دورانی پیشنهاد شده است.

مطالعهٔ آزاد

جدول۴ــ۲ــ روش چالزنی مناسب برای انواع سنگ‌های آذرین

	سختی و ساینده‌گی			
	ساینده	متوسط	کم ساینده	تجزیه شده
نوع سنگ	ریولیت	داسیت	آندزیت	سرپانتین
		دونیت	بازالت	
	آپلیت	گابرو	تراکیت	
	گرانودیوریت	کوارتزدیوریت	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 ــ۲سنگ‌های رسوبی و روش مناسب حفرچال برای آنها قید شده است.

جدول۵ــ۲ــ روش چالزنی مناسب برای انواع سنگ‌های رسوبی

	سختی و ساینده‌گی				
	سایینده سخت	کم ساینده	ساینده‌نرم	غیر ساینده سخت	غیر ساینده نرم
نوع سنگ	چخماق (فلینت)	توف	ماسه سنگ	سنگ آهک	مارن
	چرت	سنگ آهک			شیل
	کری واک				زغال‌سنگ
	کنگلومرای کوارتزدار				
روش چالزنی	ضربه‌ای سنگین	ضربه‌ای نیم ــ سنگین دورانی سنگین	دورانی سبک	ضربه‌ای متوسط تا سنگین دورانی سنگین	دورانی

در جدول ۶ــ۲ انواع سنگ‌های دگرگونی و روش حفرچال در آنها معرفی شده است. برای این نوع سنگ‌ها دو نوع چالزنی ضربه‌ای و دورانی پیشنهاد شده است.

جدول۶ــ۲ــ روش چالزنی مناسب برای سنگ‌های دگرگونی

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

خودآزمایی

۱ــ روش‌های حفر چال را نام برده و توضیح دهید.

۲ــ تجهیزاتی که جهت حفر چال می‌شناسید نام ببرید و کارکرد هر یک را مختصراً توضیح دهید.

۳ــ مکانیسم پرفوراتور را توضیح دهید.

۴ــ پیک چیست و روند کارکرد آن را توضیح دهید.

۵ــ انواع دستگاههای چالزنی ضربه‌ای را نام ببرید و کارکرد هرکدام را مختصراً توضیح دهید.

۶ــ مته چیست و اجزای آن را نام ببرید با رسم شکل.

۷ــ اهمیت بازوی حفاری چیست؟

۸ــ چالزنی به روش .D.T.H را کاملاً توضیح دهید.

۹ــ اساس کار چالزنی .D.T.H چیست و میزان قطری که می‌تواند این دستگاه بزند چقدر است؟

۱۰ــ چالزنی دورانی را توضیح دهید.