# روشهای تونل‌زنی در آستانه یک دگرگونی بزرگ

نوشته :

**سید حسن بصیر**

دانشکده فنی دانشگاه تهـــــران

## پیشگفتار

تونل در کارهای معدنی وساختمانی بامقاطع وطولهای گوناگون ساخته می‌شود. روش حفاری بطور سنتی از طریق چالزنی آتشباری بارگیری ونگاهداری میباشد. پیشرفتهای فنی دراین روش زیاد بوده ،گاهی بنظرمیرسد که بحدنهائی خود رسیده باشد.

حفرتونل بکمک ماشین های تونل زنی از چنددهه پیش آزمایش وبکارگرفته شد وماشین آن بسرعت سیرتکامل راطی میکند .

دراین مقاله نویسنده پس از شرح مختصر در باره روشهای سنتی،ماشینهای تونل زنی وآخرین تحول تکنولوژی را دراین مورد بآگاهی خوانندگان میرساند .

## روشهای سنتی

وقتی از روشهای سنتی در تونل زنی صحبت میکنیم که حفاری بکمک چالزنی خرج‌گذاری آتشباری بارگیری و باربری بسبک کلاسیک صورت‌گیرد.

سیستم های چالزنی بنوبه خود دستخوش دگرگونیهای زیادی است وپیشرفت دراین زمینه بیشتر مشمول ماشین ها چالزنی هیدرولیکی (مقاله تکنولوژی جدید در ماشینهای چالزنی مجله دانشکده فنی شماره ۳۸)شده است. برای تسریع درعملیات خرج‌گذاری وسایل وتجهیزات متعددی بکارگرفته میشود، که بستگی به‌نوع مواد منفجره دارای انواع مختلفی است،در حالیکه فشنگ‌های مواد منفجره نوع دینامیت کمافی‌السابق بادست بداخل چال‌گذارده میشود.

مواد منفجره نوع (پودری، دانه‌ای، ژلاتینی)، توسط ماشینهای مخصوص به‌چال ریخته ویا فشرده میشود.

تکنیک آتشباری تقریباً به‌آتشباری الکتریکی محدود میشود. مزایای آتشباری بکمک‌چاشنی های الکتریکی در خردشدن بهتر سنگها ،ایمن تربودن آتشباری، وعملا نامحدود بودن تعداد چالهای مورد انفجار است.

در زمینه‌بارگیری، لودرهای تونلی امروز نسبت لودرهای سالهای قبل اعجاز میکند، یعنی سنگهای آتشباری‌شده یک تونل را در ظرف مدت کوتاهی گاهی کمترازیکصد دقیقه، از سینه کار بارگیری کرده بداخل وسیله حمل میریزد. باربری سنگهای بارگیری شده در تونل زنی مدرن توسط ناو زنجیری ،نوار ویا واگنهای بزرگ صورت میگیرد.

چون تونل‌زنی بروشهای سنتی همراه صرف وقت وهزینه‌های زیاد است‌در زمینه تحقیقات وابسته به‌تکمیـــل ماشینهای تونل‌زنی صرف هزینه‌ها به‌ارقام نجومی میرسد.

## انواع ماشین‌های تونل‌زنی

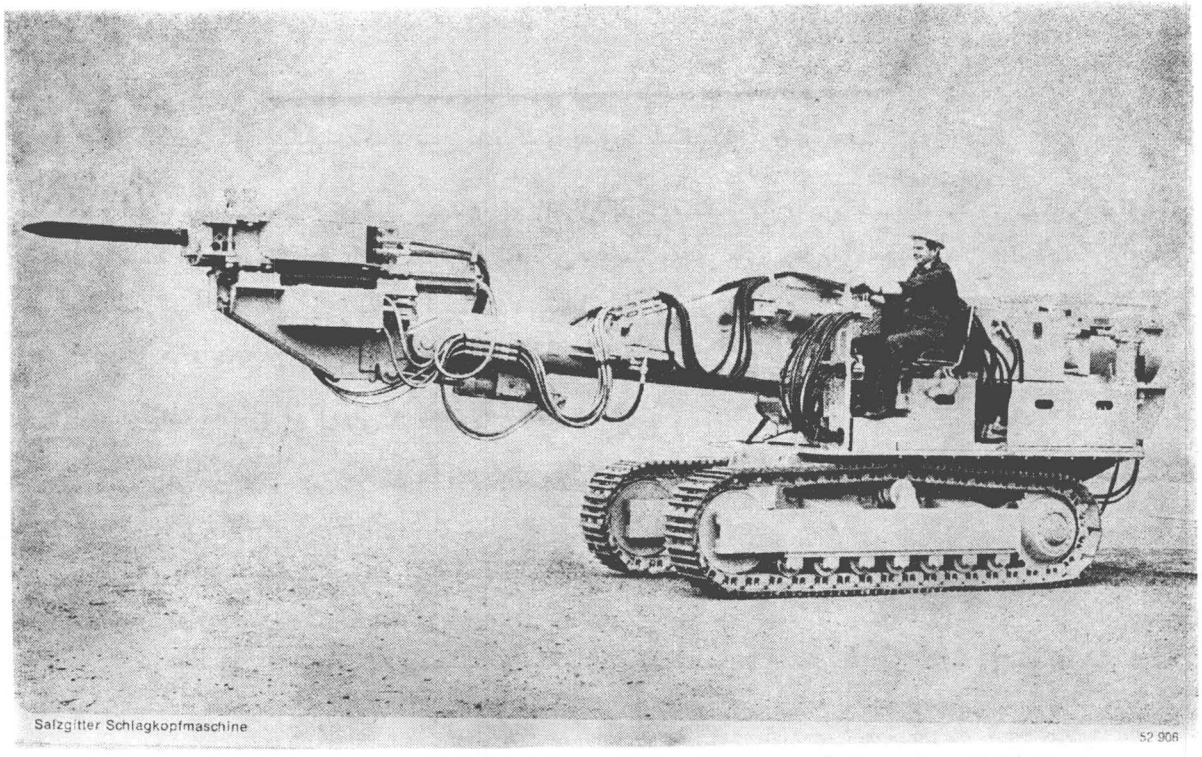
از نظر ماشین تونل‌زنی وتکنیک کوهبری انواع زیادی از ماشینهای تونل‌زنی ساخته وآزمایش شده‌است که آنهارا میتوان در سه‌گروه اصلی تقسیم کرد.

گروه ۱ ماشینهای‌ضربه‌زنImpactors که به‌شیوه کلنگ مکانیکی هیدرولیکی پرقدرت(وزن کلنگ ۶۰۰، ۸۰۰ کیلوگرم) کوهبری را انجام میدهد.

ماشینهای ایمپاکتور روی سورتمه، ارابه چرخ زنجیری، شاسی تراکتور ویادستگاه پرتال نصب میشود.

شکل ۱ ماشین ایمپاکتور را روی چرخ زنجیری نشان میدهد .

آخرین تکامل در تونل‌زنی استفاده از ماشین ایمپاکتورپرتال است که توسطآن کوهبری وبارگیری همزمان صورت‌پذیر است.

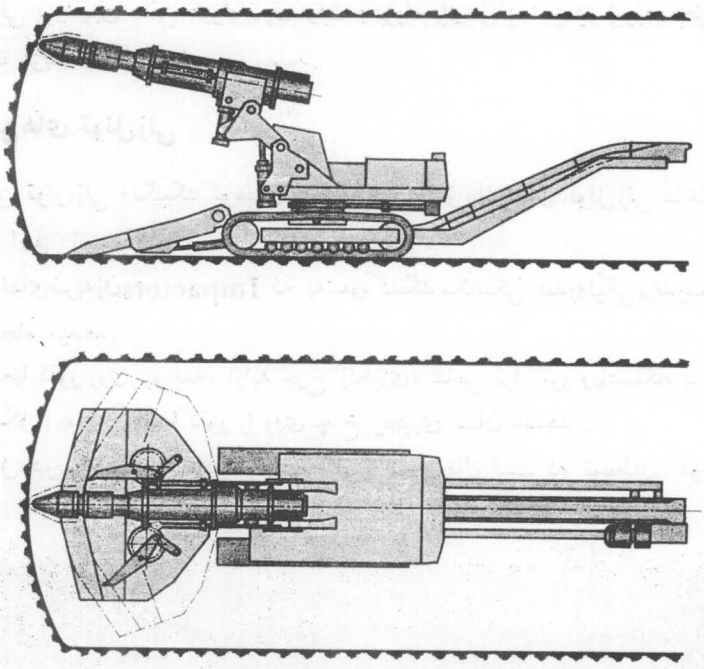



شکل ۱ ماشین ایمپاکتور عکس از SMG

گروه۲ ماشینهای تونل‌زنی سرمته چرخان Headings که طرز کارآن تشابه زیادی به‌مته‌های دندانپزشکی دارد. این ماشین‌ها تمام سینه‌کار را بوسیله جابجائی بازو کوهبری میکند .

در جابجائی بازو تمامی سینه‌کار تحت برش قرار میگیرد وسنگهای خرد شده به‌کف‌تونل میریزد. در قسمت زیرین ماشین هدینگ وسیله‌ای مانند بارکننده جوی Joy یا بارکننده Westfalia وستفالیا تعبیه میشود که سنگها را بداخل شکم ماشین بارگیری کرده ازآنجاتوسط ناو وزنجیری بانوار به‌پشت ماشین میبرد.

یکی‌از اقلام هزینه این ماشین از جانب مصرف سرمته ناشی شده که‌در سنگهای سخت به‌چند ده دلار درهر مترمکعب سنگ کوهبری شده میرسد.



شکل ۲ یک ماشین هدینگ را بصورت شماتیک نشان میدهد

گروه۳ ماشینهای تونل‌زن تمام جبهه Fullfacer که کلیه سینه کار را دریک مرحله حفاری میکند ، تونل‌های ساخته‌شده توسط این گروه ماشینها دارای مقطعی دایره‌شکل میباشد. ماشین های تونل‌زنی جدید عملا هرنوع سنگی‌راحفاری میکند. تنها مسئله هزینه حفاری است که در تقلیل آن کوشیده میشود، چون بیشتر تحقیقات در زمینه ماشینهای تمام جبهه است دراین مقاله بخش ویژه‌ای بشرح آن تخصص‌داده شده است.

## رابطه ماشین تونل‌زنی با سختی سنگ

سختی سنگهای مورد حفاری دریک طیف بزرگی نوسان میکند ونتیجتاً ماشین تونل‌زنی باید برای هرنوع‌سنگ مورد حفاری مناسب باشد.

در حفاری سنگهای نرم وهرگونه سنگ باسختی متوسط ماشینهای ضربه‌زن (گروه۱) موفقیت زیادی داشته‌است. بیش‌ازیک‌سوم تونل های دنبال لایه ذغال منطقه رور توسط این ماشین حفر میشود.

در سنگهایی که سختی‌آن متوسط‌است و سنگهای سخت ماشین های حفارسته‌ای (گروه ۲) بتعداد زیاد درحال کار است.

حفاری در سنگهای سخت وبسیارسخت توسط ماشینهای تونل‌زنی تمام‌جبهه (گروه۳) صورت میگیرد.

در اینجا باید ذکرشود که کاربرد ماشینهای تونل‌زنی تمام جبهه برای‌حفاری در سنگهائی مناسب‌است که‌جدار تونل بتواند مدتی بدون نگاهداری و بکمک جک‌های‌هیدرولیکی خود ماشین پایدار بماند. در صورت ریزش جدار این ماشینها در اثر حفاری خودر ادفن میکند.

## مزایا ومعایب ماشینهای تونل‌زنی

مزایای ماشینهای تونل‌زنی‌را در مقابل روشهای سنتی‌میتوان باین صورت‌خلاصه کرد :

۱- کم کردن سنگهای کوهبری شده (مقطع کوهبری معادل مقطع مفید تونل است).

۲- جلوگیری از شکستگی جدار تونل (در اثر آتشباری اطراف تونل شکسته می‌شود در حالیکه در تونلهای ماشینی جدار تونل آسیب نمی‌بیند).

۳- صاف بودن جدار تونل و نتیجتاً مزایای نصب وسائل نگاهداری وبتن‌سازی .

٤- اقتصادی‌تر بودن تونل‌سازی با ماشینهای تونل‌زنی.

٥- سرعت زیاددر حفاری (ارقام ۲۰۰ متر در ماه تجربه شده محسوب میشود)

معایب ماشینهای تونل زنی را میتوان گفت بدین‌گونه برشمرد :

۱- کاربرد ماشین‌های تونل‌زنی از یک طول حداقل تبعیت مینماید، حداقل طول اقتصادی برای استفاده از ماشینهای تونل‌زنی تمام جبهه بین ۲تا٤ کیلومتر است.

۲- سرمایه وانرژی زیاد لازم درکارگرفتن این ماشینها وهمچنین احتیاج به کارگران ومهندسین متخصص.

۳- ماشینهای تونل‌زنی در سنگهای بسیارسخت که مقاومت‌آنها بیش‌از ۱۸۰۰تا۲۰۰۰ کیلوپوندبرسانتیمتر مربع است بطور اقتصادی کار نمیکند هرچندماشینهای تونل‌زنی آتی جملگی برای حفاری در سنگهای سخت و بسیار سخت ساخته می‌شود.

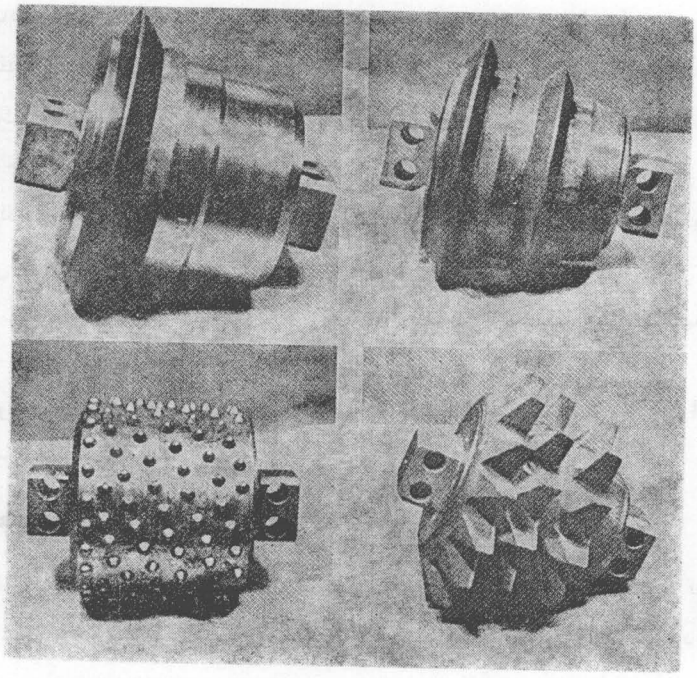
مقابله مزایا ومعایب این ماشینها نشان میدهد که در شرایط خاصی ماشین تونل‌زنی اقتصادی‌تراست.تحقیقات در رفع اشکالات این ماشینها بسرعت ادامه دارد.

## خواص ومشخصات ماشینهای تونل‌زنی تمام جبه

ماشینهای تونل‌زنی تمام جبهه از دوقسمت اساسی سته‌چرخان وبدنه‌تشکیل میشود، قطر سته چرخان ضمناقطر تونل حفرشده نیز هست. شکل۳ دوسته ماشین تمام جبهه را نشان میدهدیکی برای قطرکم ودیگری برای قطر متوسط است.

شکل ۳

در روی قسمت‌چرخان‌سرمته‌هائی که بنوبه خود میچرخد تعبیه شده‌است که کار خرد کردن سنگ‌را انجام‌میدهند .
شکل ٤ چهار گونه مته را که هریک برای نوعی سنگ مورد استفاده قرار میگیرد نشان میدهد.



شکل ٤ مته‌های ماشین تونل‌زنی عکس‌از DEMAG

نوعی ماشین تونل‌زنی وجود دارد که تونل را در چندمرحله باچندقطره مثلا ٥/٣- ٥/٥- ٧) حفر میکند.

جـــدول شماره ١

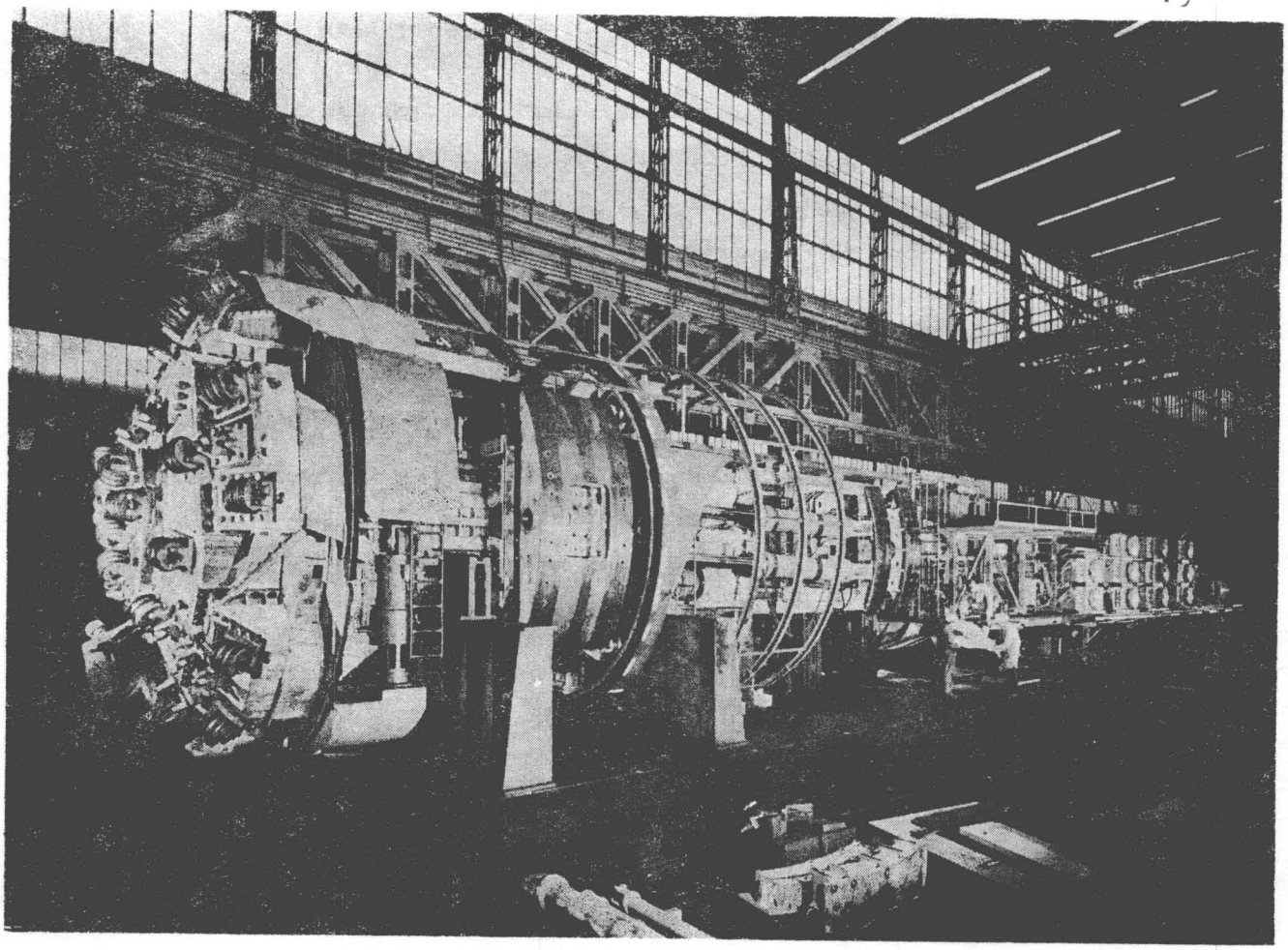
| | واحـــد | دامنه ارقـــام |
|---|---|---|
| قطر مته کوهبـــر | [m] | ٢ تـــا ١٠ |
| دور متـــه | [$min^{-1}$] | صفر تا ١٢ |
| گشتاور متـــه | [Kpm] | ١٢٠٠٠ تا ٣٠٠٠٠٠ |
| فشار ماشین به سینه کار | [Mp] | ١٨٠ تا ١١٠٠ |
| حداکثر پیشروی مته بدون جلوکشیدن متـــه | [mm] | ٧٠٠ تـــا ١٥٠٠ |
| کل نیـــــروی لازم | [KW] | ٣٠٠ تا ١٥٠٠ |
| وزن ماشین | [t] | ٥٠ تا ٣٠٠ |

نیروی محرکه ماشینهای تونل زنی الکتریسته است ولی حرکتها توسط هیدرولیک تأمین میشود. وبدین وسیله خطای مسیر بحداقل میرسد.

پاره‌ای از مشخصات فنی انواع مختلف ماشینهای تونل زنی تمام جبهه ـ تابحال آزمایش خودرا باموفقیت گذرانده در جدول شماره ۱ منعکس شده است.

یکی از انواع ماشین های تونل زنی دارای ۳۷ موتورالکتریکی باتوان کل **1200KW** میباشد که چهار موتورآن که هریک ۱۶۰ کیلووات قدرت دارد باآب خنک میشود. همین ماشین ۱۱۰۰ مترمکعب هوا در دقیقه جهت خنک کردن باقدرت خنک کنندگی ۳۴۰۰۰ کیلوکالری در ساعت لازم دارد. دراین ماشین مقدار یکصدوپنجاه لیتر آب در دقیقه برای مبارزه باگردوغبار مصرف میشود.

اندازه بزرگترین قطعه ماشین که درمحل کار مونتاژ شده ۱۶ تن است وزمان نصب آن ۱۰ هفته وقت لازم دارد.



شکل ۵ عکس از DEMAG

## تحقیقات درزمینه ماشینهای تونل زنی

درحالیکه معایب واشکالات ماشینهای تونل زنی درحال کار هنوز رفع نشده مهندسین ومحققین فن مجدانه بدنبال پیدا کردن راه‌های جدید وتکنولوژیهای تازه میباشند.

درمراکزتحقیقاتی جهت آزمایش یک وسیله یا یک ماشین شرایط طبیعی بطور مصنوعی ایجاد میشود ونتایج حفاری ثبت وتعبیر میگردد.

چون تغییرات نوع ساخت‌وبافت سنگ در پیشروی کوهبری مؤثراست در آزمایشگاه سعی میشود حتی‌لاامکان شرایط آزمایش ثابت‌بماند تا پارامترهای متغیر بحداقل برسد وقابل اندازه‌گیری باشد.

در اینجا آزمایشگاههای کانی‌شناسی- سنگ شناسی- مکانیک سنگ بایکدیگر دست‌بدست داده وقطعه‌سنگ همگن بامشخصات استحکامی شناخته شده می‌سازند. سنگ مورد آزمایش نوعی بتن‌است که باندازه‌های گوناگون ساخته میشود مورد حفاری قرار میگیرد.

آخرین وتازه‌ترین تحقیقات در زمینه کوهبری هیدرومکانیکی صورت میگیرد.

## کوهبری هیدرومکانیکی

آزمایشاتی درحال اجراست که توسط آن کوهبری‌بکمک آب تحت فشار وهمچنین مته‌های دیسکی همراه یکدیگر صورت میگیرد.

دراینجا آب بافشارهای چندهزار اتمسفر که از آب افشانهای تعبیه شده در مته تمام جبهه سنگ را می‌برد یعنی شیاری در سنگ ایجاد میکند وسپس مته دیسکی سنگ را تحت تنش قیچی قرار داده کوهبری میکند.

درساختمان ماشین تونل زنی هیدرومکانیکی طرح و ساخت تلمبه‌ای که بتواند آب را بافشار ۴۰۰۰ اتمسفربه سینه کار برساند کاری دشوار وهمراه تلاشهای زیاد بود. دراینجا شرکتهای سازنده تلمبه های پرفشار بامراکز تحقیقاتی با یکدیگر همکاری میکنند ونتایج را مشترکاً بررسی میکنند.

تلمبه‌هائی که هم‌اکنون برای آینده این ماشینها در نظرگرفته شده‌است فشاری معادل ۵تا ۱۰ هزار اتمسفر ایجاد خواهد کرد وآب را باسرعتهائی تاحدود ۵۰۰ متر برثانیه از مجرای آب افشان خارج میکند.

آب‌افشان‌هائی‌بافشار بیش‌از ۱ هزار اتمسفر که باتغییر شدید فشار آب Water pulses در زمان‌بسیار کوتاه کار خواهد کرد از مرحله تخته رسم‌گذشته وهم‌اکنون در یکی از دانشگاههای‌جمهوری فدرال آلمان تحت آزمایش‌است.

چون ماشینهای تونل‌زنی تمام جبهه سینه کار را بکمک رول‌های دیسکی‌خرد میکند یکی از آزمایشات درجهت نوسائی کردن (فعال کردن) دیسک‌هااست که نتیجه آن صرفه‌جوئی در مصرف انرژی میباشد.

ترکیبی از حفاری بکمک آب ودیسک‌های فعال آینده ماشینهای تونل‌زنی را ترسیم میکند.

وزن ماشین تونل زنی همانطورکه از جدول فوق مشهود است به‌چند صدتن میرسد وطول آن‌گاهی از ۳۰متر متجاوز میگردد.

1) Henneke, J.: Der neue Bohrversuchsstand beim Steinkohlenbergbauverein für den maschinellen Schacht und Streckenvottrieb. Glückauf 112 (1976).
2) Hambach, P.: Experiences gathered in drilling an inclined gallery throngh hard rock. Tunnels and Tunnelling Mai-June 1970.
3) Nichtmechanische Gesteinszerstörung. Hrsgb. Stuva. Düsseldorf 1972.
4) Hendriks, H.: Untersuchungen zu einem günstigen Gesteinsangriff mit Rollebohrwerkzeugen. Diss. Clausthal 1970
5) Grossekemper, H. J.: Möglicketien zur Verbesserung Erleichterungsbohrens beim Groblochbohren im Gestein. Giückaf 106 (1970).
6) Grobckemper, H. J.: Zerkleinerungswirkung, Kraftbedarf und Bohrleistung unterschiedlicher Rolltnbohrwerkzeugarten im Karbonsandstein. Glückauf 107 (1971).
7) Rohrbach, Chr,: Elektrisches Messen mechanischer Grössen Düsseldorf 1967.
8) Mechanischer Tunnelvortrieb für die N 2 in Luzern. Schweizer Baublatt Nr. 96 (1070).
9)Sommer, H. u. Kohse, D.: Erfahrungen mit einer Vollschnitt-Vortriebsmaschine auf der Grube Sofia-Jacobi. Glückauf 109 (1973).
10) Schafhausen, K.: Konzeption und Konstruktion der Wirth-Tunnelbohrmaschinen. Glückauf 108 (1972).
11) Hildebrand, W.: Mölgiichkeiten unp Probleme des Tunnelbohrens in extrem harten Gebisgen. Baumasch. Butechn. 1967.
12) Hambach, P.: Auffahren eines Schrägschachtes ven 33° Steigug im Granit mittels einer Wirth-Tunnelbohrmaschine. Tiefbu 11 (1969).
13) Hambach, P.: Erfahrungen beim vollmechanischen Auffahren cines Schräschachtes im Hartgestein. Glückauf 106 )1970).
14) Hendriks, H.: Vortrasveranstaltung der Firma Alfred Wirth über die Erfahrunpen mit Tunnelbohrmschinen im hartem Gestein. Glückauf 105 (1969).
15) Hambach, P.: Vnllmechanische Tunnelvortriebsmaschinen unter besonderer Berücksiehtigung des Erweiterungs-bohrens. Glückauf 108 (1972).
16) Otto, U.: Eine zweistufige Streekvortriebsmasehine für des vollmechanische Auffahren einer Richtstreçke mit 5, 3 m Dmr. Glückauf 107 (1971).
17) Otto, U.: Vollmechanisches Teufen eines Blindschachtes. Glückauf 107 (1971).