



دانشگاه مهندسی - گروه مهندسی عمران



اصول مهندسی تونل

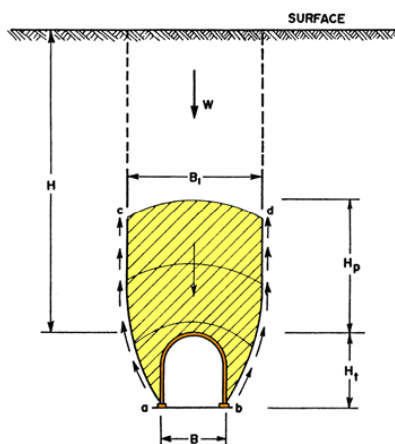
فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

علی میرزایی

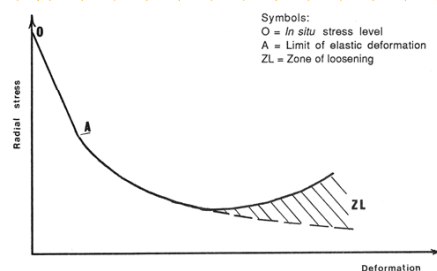
۶-۱- مقدمه

• در طراحی و ساخت تونل ها در سنگ های سست، مقاومت توده سنگ نقش مهمی به عنوان تکیه گاه تونل ایفا می نماید.

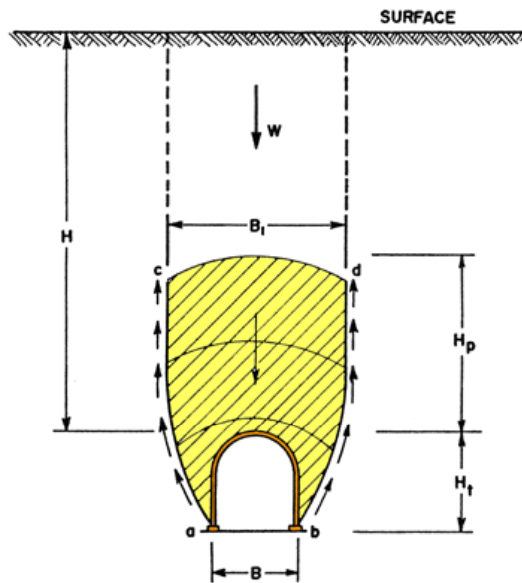
• با کاهش میزان جابجایی ها و احتمال گسیختگی توده سنگ، می توان سهمی از مقاومت توده سنگ را به عنوان تکیه گاه تونل به کار گرفت.



• به واسطه حفاری تونل، تنش های درون تونل کاهش یافته و این امر باعث رخداد تغییر شکل های زیادی در مقطع تونل می گردد.



۲-۶- تئوری بار سنگ ترزاقی



• از جمله اولین روش های تقریبی تخمین بارهای سنگ برای طراحی سازه نگهدارنده فلزی مناسب برای تونل توسط ترزاقی در سال ۱۹۴۶ معرفی گردید.



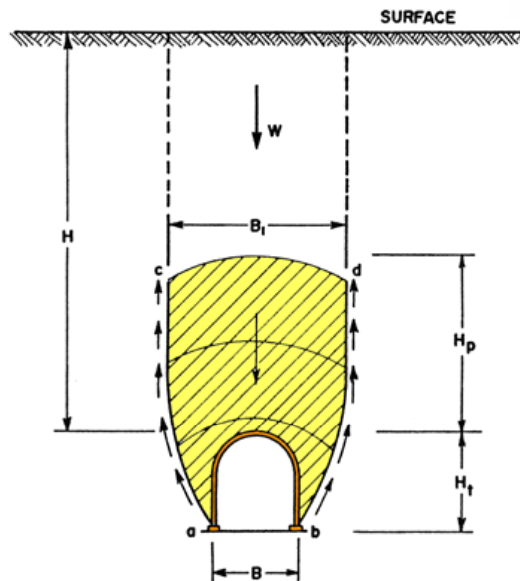
۲/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۲-۶- تئوری بار سنگ ترزاقی



• به واسطه تغییر شکل های ایجاد شده درون توده سنگ مشخص شده در ناحیه هاشور خورده و گسیختگی توده سنگ در ناحیه مذکور، به واسطه مقاومت اصطکاکی در مرز ناحیه مشخص شده، تمامی وزن قوس سنگی ایجاد شده به تکیه گاه های تونل وارد نشده و سهمی از این وزن توسط مقاومت اصطکاکی تحمل می شود.

۳/۴۳

علی میرزایی

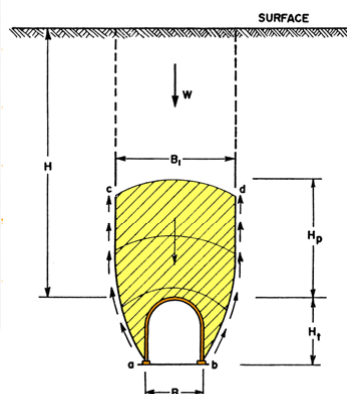
فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۲-۶- تئوری بار سنگ ترزاقی

• ترزاقی مقدار ارتفاع H_p را به صورت تابعی از ابعاد هندسی تونل و مشخصات توده سنگ بیان نمود.

Rock Condition	RQD
1. Hard and intact	95-100
2. Hard stratified or schistose	90-99
3. Massive, moderately jointed	85-95
4. Moderately blocky and seamy	75-85
5. Very blocky and seamy	30-75
6. Completely crushed but chemically intact	3-30
6a. Sand and gravel	0-3
7. Squeezing rock, moderate depth	NA
8. Squeezing rock, great depth	NA
9. Swelling rock	NA



۴/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۲-۶- تئوری بار سنگ ترزاقی

Rock condition	Rock load H_p in feet	Remarks
1. Hard and intact	Zero	Light lining required only if spalling or popping occurs.
2. Hard stratified or schistose	0 to 0.5B	Light support, mainly for protection against spalls. Load may change erratically from point to point.
3. Massive, moderately jointed	0 to 0.25B	No side pressure.
4. Moderately blocky and seamy	0.25B to 0.35(B + H_t)	Little or no side pressure.
5. Very blocky and seamy	(0.35 to 1.10)(B + H_t)	Considerable side pressure.
6. Completely crushed	1.10(B + H_t)	Softening effects of seepage towards bottom of tunnel require either continuous support for lower ends of ribs or circular ribs.
7. Squeezing rock, moderate depth	(1.10 to 2.10)(B + H_t)	Heavy side pressure, invert struts required. Circular ribs are recommended.
8. Squeezing rock, great depth	(2.10 to 4.50)(B + H_t)	Circular ribs are required. In extreme cases use yielding support.
9. Swelling rock	Up to 250 feet, irrespective of the value of (B + H_t)	

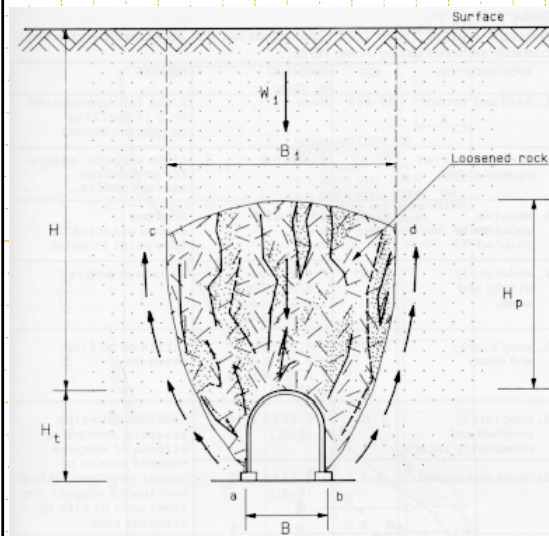
۵/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۲-۶- تئوری بار سنگ ترزاقی



• با استفاده از تئوری بار سنگ پیشنهادی توسط ترزاقی می توان در طراحی سازه نگهبان تونل ها استفاده نمود.

• به واسطه رفتار گسیختگی قوسی شکل سنگ ها، بخشی از وزن بلوک گسیخته شده توسط مقاومت اصطکاکی تحمل شده و بخش باقی مانده بایستی توسط سازه نگهبان تونل تحمل گردد.

۶/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۲-۶- تئوری بار سنگ ترزاقی



• با توجه به رابطه ترزاقی، میزان ناحیه گسیخته شده و دست خورده با افزایش ابعاد هندسی تونل بزرگتر شده و افزایش می یابد.



۷/۴۳

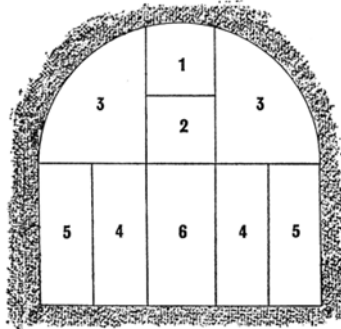
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

- با توجه به تئوری ترزاقی، با کاهش ابعاد هندسی مقطع حفاری، میزان دستخوردگی و ناحیه گسیختگی شکل گرفته کاهش می یابد.
- تئوری ترزاقی، به عنوان یک راهکار برای روش های حفاری در سنگ های سست استفاده گردید.



روش حفاری بلژیکی

- در این گونه روش ها، مقطع کلی تونل به قسمت های کوچکتری تقسیم بندی شده و هر یک از قسمت های کوچکتر حفاری شده و در حین حفاری هر یک از این مقاطع کوچکتر از سازه های نگهدارنده موقت سبک و کوچکتر (عمدتاً از جنس الوار) استفاده شده است.

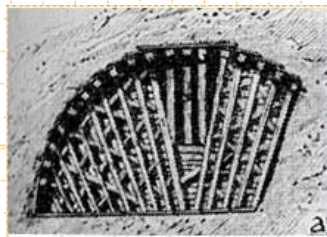
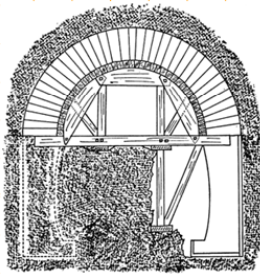
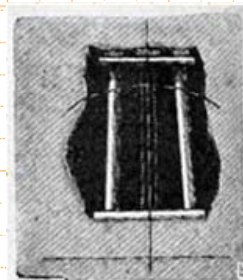
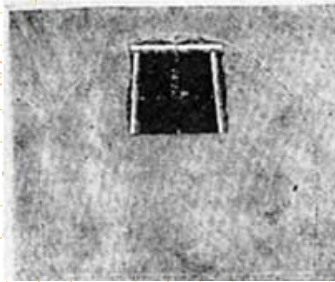
۸/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست



۹/۴۳

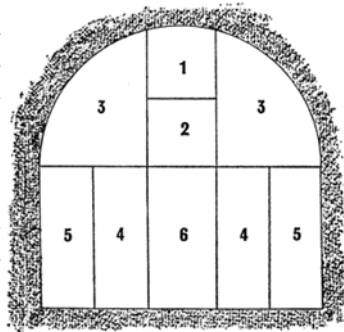
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

- از جمله روش های حفاری اولیه در سنگ های سست، روش حفاری بلژیکی بوده که در سال ۱۸۲۸ در حفاری تونل چالروی (Chaleroi) استفاده گردید.



روش حفاری بلژیکی

- در روش مورد استفاده توسط بلژیکی ها ابتدا قسمت وسطی بالایی تونل حفر شده و سازه نگهدارنده آن تعبیه گشته و سپس مقطع پایین تونل حفر و سازه نگهدارنده آن نصب شده است.

- اگرچه، روش بلژیکی به واسطه حوادث خطرناکی که در استفاده از این روش در حفر تونل گوتارد (۱۸۷۲-۱۸۸۲) رخ داد، کمتر مورد استقبال و استفاده قرار گرفت.

۱۰/۴۳

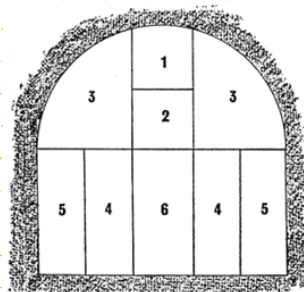
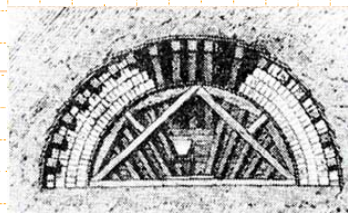
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

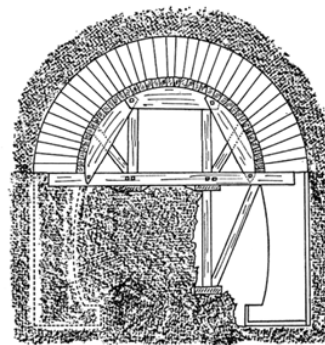
اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

- مشکل اصلی استفاده از روش حفاری بلژیکی، حفر مقطع شماره ۳ بوده که بعد از حفر آن، امکان فراهم نمودن تکیه گاه لازم برای سازه نگهدارنده این دو مقطع دشوار و غیر ممکن بوده است.



روش حفاری بلژیکی



۱۱/۴۳

علی میرزایی

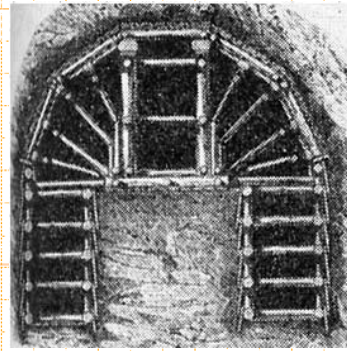
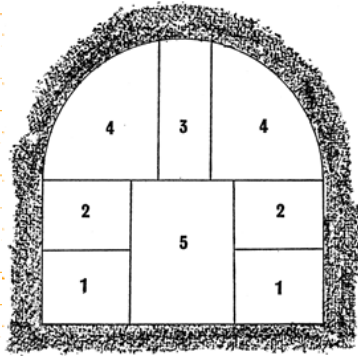
فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

• آلمانی ها مطابق الگوی حفاری زیر، مقطع مرکزی و پایین تونل را تا آخرین مرحله حفاری نگه داشته و از آن به عنوان تکیه گاه سازه نگهبان مقطع استفاده نموده اند.

• به واسطه احتمال تورم خاک نگه داشته شده در مرکز مقطع پایینی تونل امکان رخداد ناپایداری در تکیه گاه ها وجود دارد (به عنوان مثال حفاری تونل کرنیتز در اتریش، ۱۸۶۶).



۱۲/۴۳

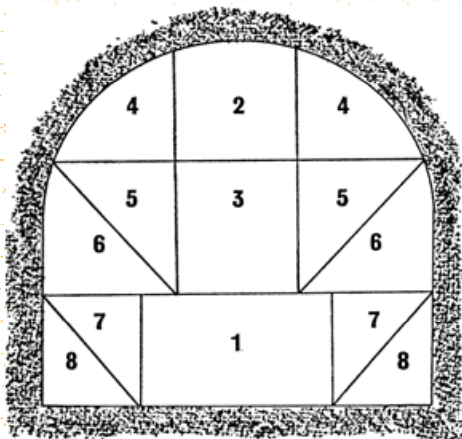
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

• روش حفاری اتریشی در ابتدای امر برای حفر تونل ابرو (Oberau) در سال ۱۸۳۷ استفاده گردید.



• از جمله تفاوت های اصلی روش حفاری اتریشی با سایر روش ها، نصب لاینینگ تونل (دیوار آجری) بعد از حفاری تمام مقطع تونل می باشد.

• در ابتدا مقطع شماره ۱ به طول تقریبی ۵ متر حفر شده تا امکان به عنوان خط مسیر تونل عمل نموده و نیز یک فضای مناسب کاری را فراهم نماید.

الگوی حفاری در روش اتریشی اولیه

۱۳/۴۳

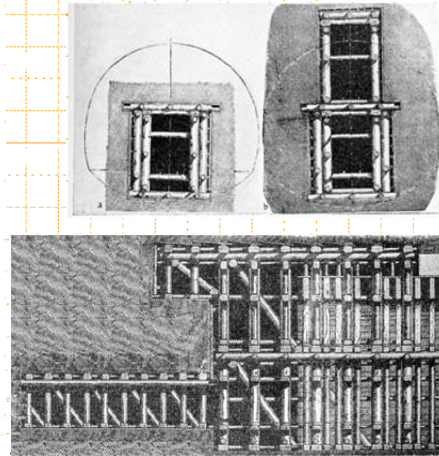
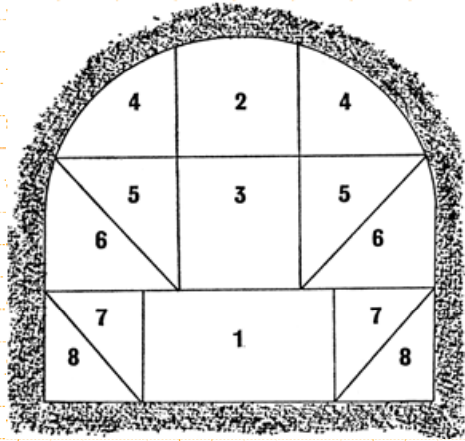
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

- در ادامه، مقطع شماره ۲ حفر شده و سپس مقطع شماره ۳ با استفاده از فضای فراهم شده در مقطع شماره ۲ حفر می گردید.



الگوی حفاری در روش اتریشی اولیه

۱۴/۴۳

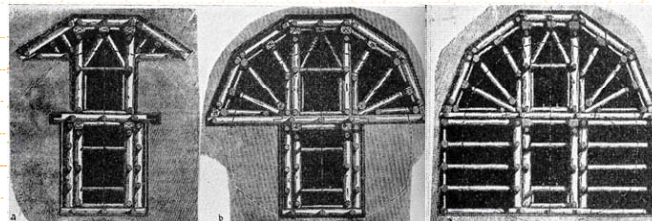
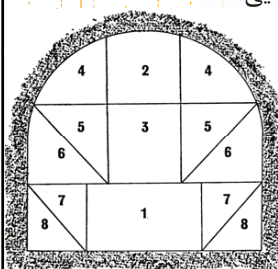
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

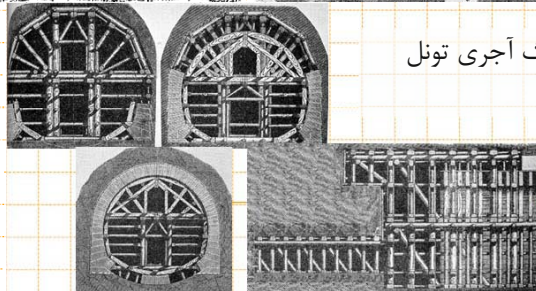
اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

- در ادامه روند حفاری، شانه های کناری تونل به ترتیب از قسمت بالایی تونل به سمت پایین تونل حفر شده اند.



- با اتمام حفاری کامل مقطع، لاینینگ آجری تونل نصب و تعبیه می شده است.



۱۵/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۳-۶- تاریخچه تونل سازی در سنگ های سست

- اگر چه امروزه استفاده از روش های ابتدایی حفاری در سنگ های سست کمتر مورد استفاده قرار می گیرد، لیکن پایه این روش ها یعنی تقسیم مقطع تونل به مقاطع کوچکتر حفاری و کاهش و کنترل تغییر شکل های زمین در روش های حفاری متوالی (Sequential Excavation Method) (SEM) امروزی استفاده می شوند.



۱۶/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۴-۶- روش مشاهده ای ترزاقی

- ترزاقی (۱۹۴۰) یک روش حل سیستماتیک برای حل مسائل مرتبط در حیطه مهندسی ژئوتکنیک که در آن ها میزان ناآگاهی از شرایط زمین بالا بوده را اصطلاحاً با نام "روش مشاهده ای" (Observational Approach) پیشنهاد نمود:

- در مهندسی ژئوتکنیک، تلاش زیادی برای مطمئن بودن نسبت به داده های ورودی پارامترهای مهندسی که در آن ها خطا و تقریب زیاد بوده صرف می گردد. معمولاً در حل مسائل، بسیاری از پارامترها ناشناخته باقی می ماند. در نتیجه، تمامی آنالیزهای انجام شده تنها به عنوان یک "فرضیه" قلمداد شده و در هنگام مراحل ساخت با رفتار واقعی سازه مقایسه و اصلاح می گردد.

- در مقابله با این گونه پارامترهای ناشناخته می توان از ضریب اطمینان بالاتر و یا تجربه های گذشته استفاده نمود. روش اول دارای هزینه های بسیار بالا بوده و از آنجایی که رخداد بیشتر گسیختگی ها به واسطه شرایط غیر قابل پیش بینی زمین اتفاق می افتد روش دوم نیز نمی تواند کارآمد باشد.

- اگرچه در روش مشاهده ای، روند عملکرد به صورت "آموزش در حین پیشرفت" (Learn as you go) می باشد.

- در روش مشاهده ای، طراحی اولیه بر پایه تمامی اطلاعات قابل حصول از منطقه انجام پذیرفته و با مشاهده و بررسی پاسخ زمین در حین مراحل ساخت به ویژه برای پارامترهای شناخته نشده و یا مشکوک، طرح اولیه ارتقا و بهبود می یابد.

۱۷/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• در روش حفاری تونل سازی اتریشی جدید (New Austrian Tunneling Method) و یا NATM دو پارامتر "رفتار توده سنگ" و "کنترل رفتار توده سنگ در حین ساخت تونل" حایز اهمیت می باشند.

• در روش حفاری NATM به واسطه کنترل رفتار توده سنگ در حین حفاری و بعد از آن، وضعیت تکیه گاه های تونل را برای نیل به اقتصادی ترین و پایدارترین وضعیت مرتباً بهبود بخشید.

• رابکوویچ (۱۹۶۴) به جمع بندی اصول روش تونل سازی اتریشی جدید پرداخته و بیان نموده که این روش برای حفاری تونل در زمین های ناپایدار مناسب بوده و در آن لاینینگ تونل معمولاً شامل لایه نسبتاً نازکی از شاتکریت بوده که به وسیله میل مهار های مختلف تقویت شده و با قرائت و اندازه گیری سیستماتیک تغییر شکل ها و تنش ها می توان ضخامت لاینینگ لازم را محاسبه نمود.

۱۸/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• ساختار روش تونل سازی اتریشی جدید:

۱- مقاومت ذاتی توده سنگ:



مقاومت ذاتی توده سنگ اطراف تونل بایستی کاملاً نگه داری گردد.

برای این امر تکیه گاه مناسب در مقطع تونل تعبیه شده تا توده سنگ بتواند به آن تکیه نموده و وزن خود را تحمل کند.



کیفیت عملکرد تکیه گاه به منحنی نیرو- تغییر شکل تکیه گاه و تعبیه آن در زمان مناسب وابسته می باشد.

۱۹/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• ساختار روش تونل سازی اتریشی جدید:



۲- تکیه گاه اولیه:

با نصب تکیه گاه اولیه می توان از کاهش مقاومت و به وجود آمدن تغییر شکل در زمین اطراف تونل ممانعت به عمل آورد.



از جمله تکیه گاه های اولیه مناسب مجموعه ای از میل مهار ها و پوشش بتنی نسبتا نازک و منعطف نسبت به تغییر شکل های زمین (شاتکریت) می باشد.

در طراحی تکیه گاه اولیه تونل، ضخامت شاتکریت را به گونه ای در نظر گرفته تا تکیه گاه اولیه تونل کاملا با مصالح زمین اطراف آن در تماس بوده و نسبت به تغییر شکل های زمین سازگار و منعطف باشد.

۲۰/۴۳

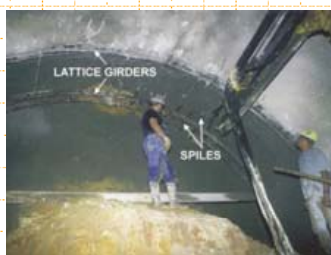
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

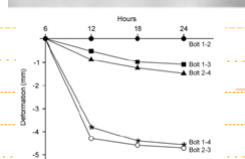
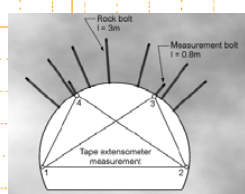
• ساختار روش تونل سازی اتریشی جدید:



۲- تکیه گاه اولیه:

معمولا برای افزایش مقاومت تکیه گاه اولیه تونل، به جای افزایش ضخامت شاتکریت، از شبکه های فلزی (Wire Mesh) و احیاناً قوس های فلزی (Steel Ribs) به همراه میل های مهار استفاده شده تا مجموعه تکیه گاه اولیه تونل نسبت به تغییر شکل های زمین سازگار و منعطف باشد.

۳- اندازه گیری:



بعد از اجرای تکیه گاه اولیه، تغییر شکل های ایجاد شده در میل مهار ها به صورت پیوسته اندازه گیری شده و پاسخ زمین برای طراحی بهینه تکیه گاه در ادامه مسیر تونل استفاده می گردد.

۲۱/۴۳

علی میرزایی

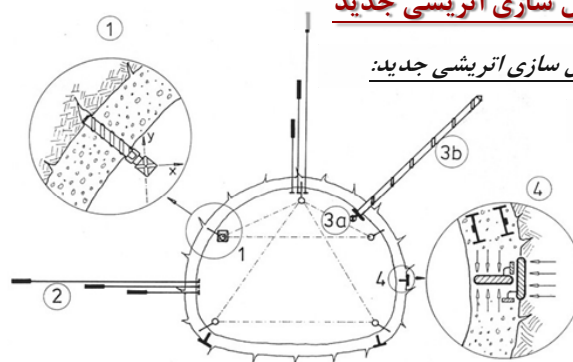
فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• ساختار روش تونل سازی اتریشی جدید:

۳- اندازه گیری:



Legend	Measuring objective	Instrument
1	Deformation of the excavated tunnel surface	Convergence tape Surveying marks
2	Deformation of the ground surrounding the tunnel	Extensometer
3	Monitoring of ground support element 'anchor'	Total anchor force
4	Monitoring of ground support element 'shotcrete shell'	Pressure cells Embedments gauge

۲۲/۴۳

علی میرزایی

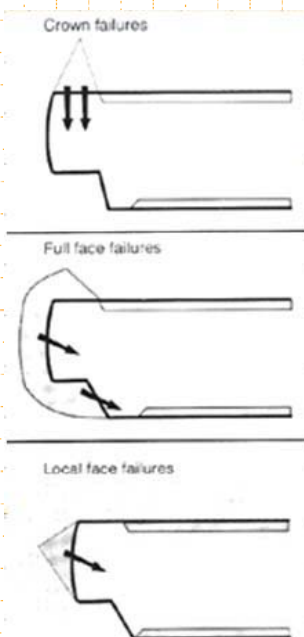
فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• ساختار روش تونل سازی اتریشی جدید:

۴- اجرای مقطع پایین:



با توجه به آن که در روش تونل سازی اتریشی جدید حفاری مقطع تونل به صورت متوالی و در بخش های مختلف (عموما ابتدا حفاری نیمه بالا و در ادامه حفاری نیمه پایینی) انجام می پذیرد، برای عملکرد صحیح و تکمیل توانایی ظرفیت باربری لاینینگ تونل، بایستی مقطع پایینی تونل نیز حفر شده تا لاینینگ تونل به صورت کامل اجرا شده و عمل نماید.

در روش حفاری NATM، اغلب گسیختگی های رخ داده در جبهه حفاری و در زمانی که هنوز تکیه گاه تونل کاملا اجرا نشده و حالت کنسولی داشته رخ می دهد.

۲۳/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• ساختار روش تونل سازی اتریشی جدید:

۵- ترتیب حفاری:

ترتیب حفاری تونل بایستی با توجه به وضعیت توده زمین انتخاب گردد و همواره ترجیحاً بایستی به گونه ای اجرا شده تا طول بدون تکیه گاه تونل همواره دارای کمترین مقدار ممکن باشد.

۶- انعطاف پذیری قرارداد ساخت:

در پروژه هایی که از روش جدید تونل سازی اتریشی استفاده می گردد، قرارداد ساخت تونل بایستی به گونه ای تنظیم شده تا امکان تغییر تکیه گاه، میل مهارهای لازم و ... در طول مسیر پروژه میسر شده باشد.

۲۴/۴۳

علی میرزایی

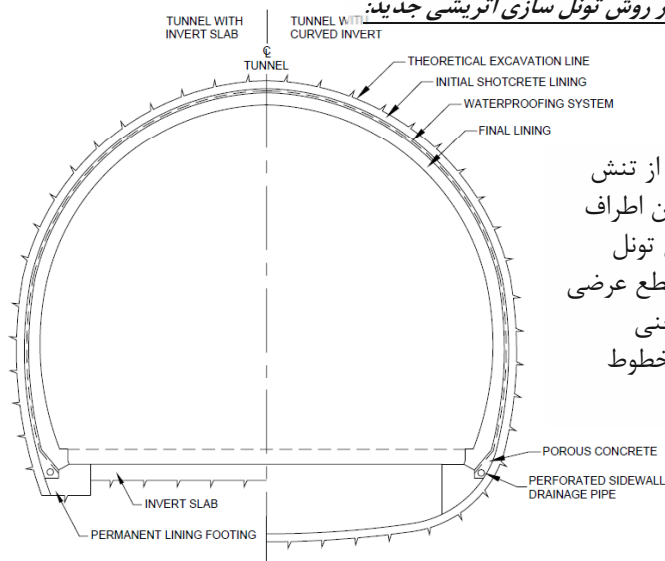
فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• اجزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۱- هندسه :



برای آن که سهم عمده ای از تنش های ایجاد شده توسط زمین اطراف تونل تحمل گردد، در روش تونل سازی اتریشی جدید در مقطع عرضی تونل همواره از خطوط منحنی استفاده شده و استفاده از خطوط مستقیم اجتناب می گردد.

۲۵/۴۳

علی میرزایی

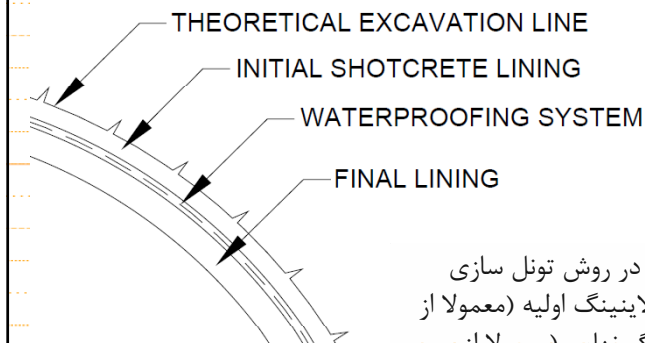
فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

•/جزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۲- لاینینگ مضاعف:



در مقطع عرضی مورد استفاده در روش تونل سازی اتریشی جدید، معمولاً از یک لاینینگ اولیه (معمولاً از جنس شاتکریت) و یک لاینینگ نهایی (معمولاً از جنس قطعات بتنی پیش ساخته و یا شاتکریت) استفاده شده و در فضای بین این دو لاینینگ سیستم عایق بندی نصب می گردد.

۲۶/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مسست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

•/جزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۲-۱- لاینینگ اولیه (شاتکریت):

• بعد از اتمام حفاری، لاینینگ اولیه تونل به صورت شاتکریت (بتن پاشی) بسته به دهانه تونل و وضعیت پایداری زمین معمولاً به ضخامت ۱۰ الی ۴۰ سانتی متر اجرا می گردد.

• شاتکریت اجرا شده به عنوان لاینینگ اولیه تونل با استفاده از شبکه مش فلزی، الیاف فلزی و یا الیاف پلاستیکی و پلیمری تقویت و مسلح می گردد.



۲۷/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مسست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

•/جزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۲-۲- عایق بندی:

- بعد از اجرای لاینینگ اولیه، پوشش عایق بندی به ضخامت بین ۲ الی ۳ میلی متر و معمولاً از جنس پی. وی. سی اجرا شده و در فضای بین لاینینگ اولیه و لاینینگ نهایی واقع می گردد.



- اجرای عایق بندی تونل بایستی بعد از اتمام تغییر شکل های تونل و رسیدن به یک وضعیت پایدار بعد از حفاری انجام پذیرد.

۲۸/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

•/جزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۲-۲- عایق بندی:

- کیفیت شاتکریت اجرا شده در مرحله اجرای لاینینگ اولیه بایستی به گونه ای باشد تا از صدمه رسیدن به لایه عایق بندی تونل جلوگیری شود.



- برای این امر بایستی نسبت میزان فرورفتگی ها و یا برجستگی های شاتکریت در طول کمتر از ۱/۵ باشد.

- در عمل، معمولاً لایه های خارجی شاتکریت به صورت نرم تر و با میزان سیمان بیشتر اجرا می شوند.

۲۹/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

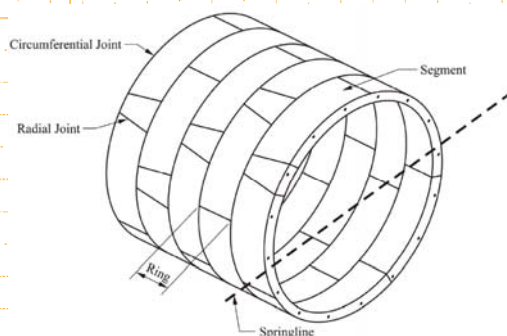
اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

•/جزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۲-۳- لاینینگ نهایی:

•لاینینگ نهایی تونل می تواند شامل قطعات بتنی پیش ساخته (عادی و یا مسلح) و یا شاتکریت و معمولاً دارای ضخامت در حدود ۳۰ سانتی متر می باشد.



۳۰/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

•/جزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۲-۳- لاینینگ نهایی:



•در لاینینگ های نهایی شامل قطعات بتنی پیش ساخته، بایستی تماس مطلوبی بین لاینینگ اولیه و لاینینگ نهایی برقرار شده که این امر با تزریق ملات در فضای بین آنها انجام می پذیرد.

۳۱/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

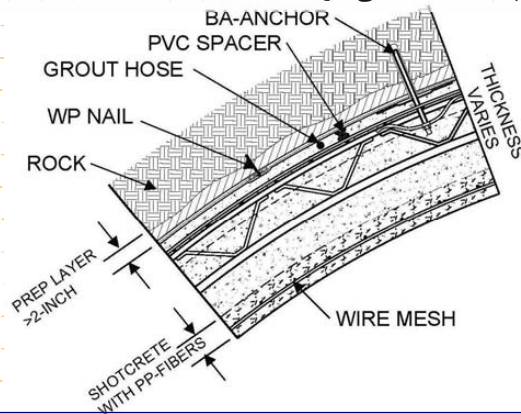
اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• اجزای مقطع عرضی تونل در روش تونل سازی اتریشی جدید:

۲-۳- لاینینگ نهایی:

• لاینینگ های نهایی از نوع شاتکریت، اغلب در موارد خاص همچون تونل های با طول کم و یا مقاطع هندسی پیچیده استفاده می گردند.



۳۲/۴۳

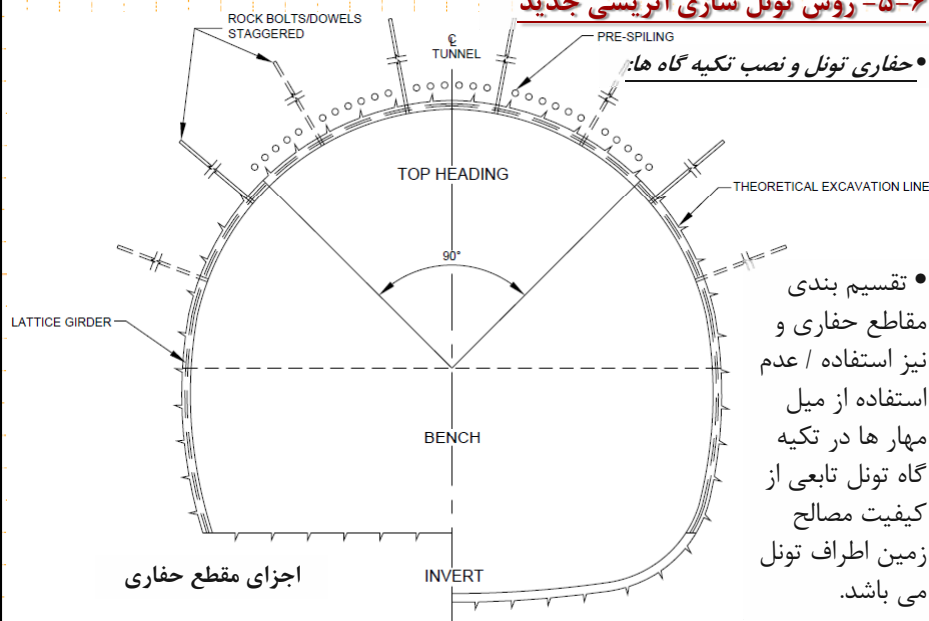
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها:



• تقسیم بندی مقاطع حفاری و نیز استفاده / عدم استفاده از میل مهار ها در تکیه گاه تونل تابعی از کیفیت مصالح زمین اطراف تونل می باشد.

اجزای مقطع حفاری

۳۳/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶ روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها:

Ground Mass Quality - Rock	Excavation Sequence	Rock Reinforcement	Initial Shotcrete Lining	Installation Location	Pre-Support	Support Installation influences progress	Remarks
Intact Rock	Full face or large top heading & bench	Spot bolting (fully grouted dowels, Swellex ®)	Patches to seal surface in localized fractured areas	Typically Several rounds behind face or directly near face to secure isolated blocks/slabs/wedges	None	No	
Stratified Rock	Top heading & bench	Systematic doweling or bolting in crown considering strata orientation (fully grouted dowels, Swellex®, rock bolts)	Thin shell (fiber reinforced) typically 4 in (100 mm) to bridge between rock reinforcement in top heading; alternatively chain link mesh; installed with the rock reinforcement.	Two to three rounds behind face	None	No or eventually	
Moderately Jointed Rock	Top heading & bench	Systematic doweling or bolting in top heading considering joint spacing (fully grouted dowels, Swellex®, rock bolts)	Systematic shell with reinforcement (welded wire fabric or fibers) in top heading and potentially bench; dependent on tunnel size thickness of 6 in (150 mm) to 8 in (200mm); installed with the rock reinforcement.	One to two rounds behind face	Locally to limit over break	Yes	
Blocky and Seamy Rock	Top heading & bench	Systematic doweling or bolting in top heading & bench considering joint spacing	Systematic shell with reinforcement (welded wire fabric or fibers) in top heading & bench; depending on tunnel size thickness 8 in (200 mm) to 12 in (300 mm)	At the face or maximum one round behind face	Systematic spiling in tunnel roof or parts of it	Yes	

۳۴/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶ روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها:

Ground Mass Quality - Rock	Excavation Sequence	Rock Reinforcement	Initial Shotcrete Lining	Installation Location	Pre-Support	Support Installation influences progress	Remarks
Crushed, but Chemically Intact Rock	Top heading, bench, invert	N/A	Systematic shell with reinforcement (welded wire fabric or fibers) and ring closure in invert; dependent on tunnel size thickness 12 in (300 mm) and more; for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete may be required	After each round	Systematic grouted pipe spiling or pipe arch canopy	Support installation dictates progress	If water is present, groundwater draw down or ground improvement is required
Squeezing Rock	Top heading, bench, invert	Systematic doweling or bolting in top heading & bench considering joint spacing; extended length	Systematic shell with reinforcement (welded wire fabric or fibers) and ring closure in invert; dependent on tunnel size thickness 12 in (300 mm) and more; potential use for yield elements; for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete may be required	After each round	Systematic grouted pipe spiling or pipe arch canopy	Support installation dictates progress	
Swelling Rock	Top heading, bench, invert	Systematic doweling or bolting in top heading & bench considering joint spacing; extended length	Systematic shell with reinforcement (welded wire fabric or fibers) and ring closure in invert; dependent on tunnel size thickness 12 in (300 mm) and more; potential use for yield elements	After each round	Systematic grouted pipe spiling or pipe arch canopy may be required depending on degree of fracturing	Support installation dictates progress	Deepened invert for additional curvature

۳۵/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها:

Ground Mass Quality – Soil	Excavation Sequence	Initial Shotcrete Lining	Installation Location	Pre-Support	Support Installation	Remarks
Stiff/hard cohesive soil - above groundwater table	Top heading, bench & invert; dependent on tunnel size, further sub-divisions into drifts may be required	Systematic reinforced (welded wire fabric or fibers) shell with full ring closure in invert; dependent on tunnel size 6 in (150 mm) to 16 in (400 mm) typical; for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete may be required	Installation of shotcrete support immediately after excavation in each round. Early support ring closure required. Either temporary ring closure (e.g. temporary top heading invert) or final ring closure to be installed within one tunnel diameter behind excavation face.	Typically none; local spiling to limit over-break	Support installation dictates progress	Overall sufficient stand-up time to install support without pre-support or ground modification
Stiff/hard cohesive soil - below groundwater table	Top heading, bench and invert; dependent on ground strength, smaller drifts required than above	Systematic reinforced (welded wire fabric or fibers) shell with full ring closure in invert; dependent on tunnel size 6 in (150 mm) to 16 in (400 mm) typical; for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete may be required; frequently more invert curvature than above	Installation of shotcrete support immediately after excavation in each round. Early support ring closure required. Either temporary ring closure (e.g. temporary top heading invert) or final ring closure to be installed within less than one tunnel diameter behind excavation face; typically earlier ring closure required than above	Typically none; locally pre-spiling to limit over-break	Support installation dictates progress	Sufficient stand-up time to install support without pre-support or ground improvement; dependent on water saturation, swelling or squeezing can occur
Well consolidated non-cohesive soil - above groundwater table	Top heading, bench & invert; dependent on tunnel size, further sub-divisions into drifts may be required	Systematic reinforced (welded wire fabric or fibers) shell with full ring closure in invert; dependent on tunnel size 6 in (150 mm) to 16 in (400 mm) typical; for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete is required	Installation of shotcrete support immediately after excavation in each round. Early support ring closure required. Either temporary ring closure (e.g. temporary top heading invert) or final ring closure to be installed within less than one tunnel diameter behind excavation face	Frequently systematic pre-support required by grouted pipe spiling or grouted pipe arch canopy; alternatively ground improvement	Support installation dictates progress	Stand-up time insufficient to safely install support without pre-support or ground improvement
Well consolidated	Top heading, bench &	Systematic reinforced	Installation of shotcrete support	Frequently	Support	Stand-up time

۳۶/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها:

Ground Mass Quality – Soil	Excavation Sequence	Initial Shotcrete Lining	Installation Location	Pre-Support	Support Installation	Remarks
non-cohesive soil - below groundwater table	invert; dependent on tunnel size, further sub-divisions into drifts may be required; Pocket excavation and/or face stabilization wedge may be required	(welded wire fabric or fibers) shell with full ring closure in invert; dependent on tunnel size 6 in (150 mm) to 16 in (400 mm) typical for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete is required	immediately after excavation in each round. Early support ring closure required. Either temporary ring closure (e.g. temporary top heading invert) or final ring closure to be installed within less than one tunnel diameter behind excavation face	systematic pre-support required by grouted pipe spiling or grouted pipe arch canopy; groundwater draw down or ground improvement	installation dictates progress	insufficient to safely install support without pre-support or ground improvement; Running ground conditions or boiling may occur
Loose non-cohesive soil - above groundwater table	Top heading, bench & invert; dependent on tunnel size, further sub-divisions into drifts may be required; Pocket excavation and/or face stabilization wedge may be required	Systematic reinforced (welded wire fabric or fibers) shell with full ring closure in invert; dependent on tunnel size thickness 6 in (150 mm) to 16 in (400 mm) typical for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete is required	Installation of shotcrete support immediately after excavation in each round. Early support ring closure required. Either temporary ring closure (e.g. temporary top heading invert) or final ring closure to be installed within less than one tunnel diameter behind excavation face	Systematic pre-support required by grouted pipe arch canopy; alternatively ground improvement	Support installation dictates progress	Stand-up time insufficient to safely install support without pre-support and/or ground improvement
Loose non-cohesive soil - below groundwater table	Top heading, bench & invert; dependent on tunnel size, further sub-divisions into drifts may be required; Pocket excavation and/or face stabilization wedge may be required	Systematic reinforced (welded wire fabric or fibers) shell with full ring closure in invert; dependent on tunnel size thickness 6 in (150 mm) to 16 in (400 mm) typical for initial stabilization and to prevent desiccation, a layer of flashcrete is required	Installation of shotcrete support immediately after excavation in each round. Early support ring closure required. Either temporary ring closure (e.g. temporary top heading invert) or final ring closure to be installed within less than one tunnel diameter behind excavation face	Systematic pre-support required by grouted pipe arch canopy frequently in combination with ground improvement	Support installation dictates progress	Stand-up time insufficient to safely install support without pre-support or ground improvement; Running ground conditions or boiling may occur

۳۷/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶ روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها، مثال های اجرایی:

Description	Cross Section	Longitudinal Section	Photo
Intact Rock: <ul style="list-style-type: none"> Spot bolting Occasional sealing shotcrete Full face or top heading/bench excavation Round Length <ul style="list-style-type: none"> Top Heading: 8'-12" (2.5-3.7 m) Bench: Up to 16'-0" (4.9 m) Dimensions <ul style="list-style-type: none"> Height: 20'-0" (6 m) Width: 29'-0" (8.8 m) Example: Bergen Tunnels, NJ			
Stratified Rock: <ul style="list-style-type: none"> Systematic rock doweling Systematic shotcrete initial lining Top heading excavation Bench excavation follows distant Round Length <ul style="list-style-type: none"> Top Heading: 6'-6" (2 m) Bench: 6'-6" (2 m) Dimensions <ul style="list-style-type: none"> Height: 29'-6" (9 m) Width: 36'-0" (11 m) Example: Zederhaus, Austria			
Fractured Rock: <ul style="list-style-type: none"> Systematic rock doweling Systematic shotcrete initial lining Top heading excavation Bench excavation follows any time Round Length <ul style="list-style-type: none"> Top Heading: 7'-2" (2.2 m) Bench: 13'-0" (4.0 m) Dimensions <ul style="list-style-type: none"> Height: 28'-0" (8.5 m) Width: 36'-5" (11.1 m) Example: Devil's Slide Tunnels, CA			

۳۸/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶ روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها، مثال های اجرایی:

Description	Cross Section	Longitudinal Section	Photo
Soft Ground - shallow cover: <ul style="list-style-type: none"> Systematic pre-support Systematic shotcrete initial lining support with early ring closure Top heading excavation (with temporary invert), bench and invert excavation Round Length <ul style="list-style-type: none"> Top Heading: I - 3'-3" (1 m) Top Heading: II - 6'-6" (2 m) Bench III/Invert IV - 6'-6" (2 m) Dimensions <ul style="list-style-type: none"> Height: 38'-0" (11.6 m) Width: 48'-0" (14.7 m) Example: Fort Canning Tunnel, Singapore			
Soft Ground - deep level: <ul style="list-style-type: none"> Systematic shotcrete support with early ring closure Top heading excavation closely followed by bench/invert excavation Round Length <ul style="list-style-type: none"> Top Heading: 3'-3" (1 m) Bench: 6'-6" (2 m) Dimensions <ul style="list-style-type: none"> Height: 20'-3" (6.3 m) Width: 20'-3" (6.3 m) Example: London Bridge Station, London, UK			

۳۹/۴۳


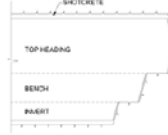
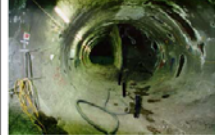
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های مست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• حفاری تونل و نصب تکیه گاه ها، مثال های اجرایی:

Description	Cross Section	Longitudinal Section	Photo
Soft Ground – deep level: <ul style="list-style-type: none"> Systematic shotcrete support with early ring closure Sub-division into sidewall drifts Top heading excavation closely followed by bench and invert excavation Round Length <ul style="list-style-type: none"> Top Heading: 3'-3" (1 m) Bench: 6'-6" (2 m) Invert: 6'-6" (2 m) Dimensions <ul style="list-style-type: none"> Height: 30'-2" (9.2 m) Width: 37'-0" (11.3 m) Example: London Bridge Station, London, UK			

۴۰/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• ماشین آلات/ روش های حفاری متداول:

• در روش تونل سازی اتریشی جدید، عملیات حفاری معمولاً با توجه به کیفیت مصالح زمین با استفاده از روش های انفجاری (در سنگ های سخت) و یا با استفاده از ماشین آلات حفاری مکانیزه همچون Road-header (در سنگ های سست و یا خاک) انجام می پذیرد.



حفاری با استفاده از چالزنی و انفجار



حفاری مکانیزه با استفاده از Road-header

۴۱/۴۳

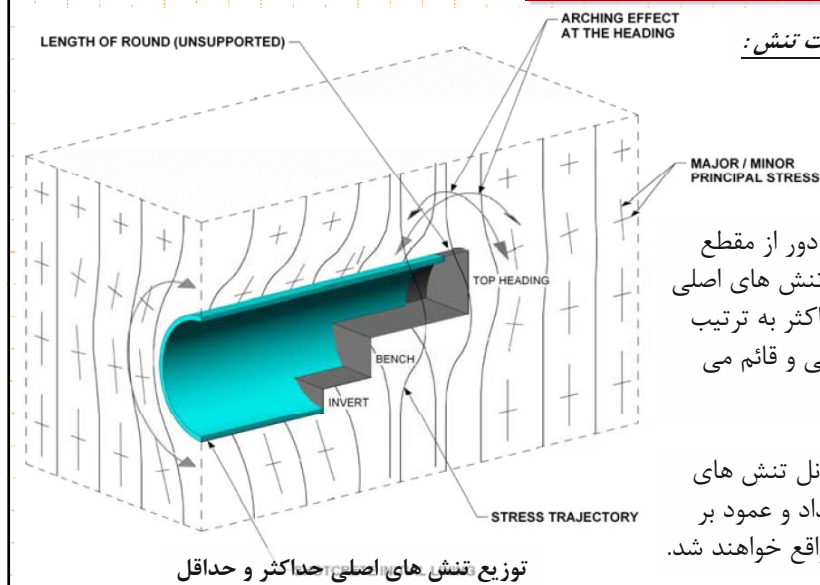
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• حوزه تغییرات تنش:



• در فضاهای دور از مقطع تونل، توزیع تنش های اصلی حداقل و حداکثر به ترتیب به صورت افقی و قائم می باشد.

• در مقطع تونل تنش های اصلی در امتداد و عمود بر مقطع تونل واقع خواهند شد.

۴۲/۴۳

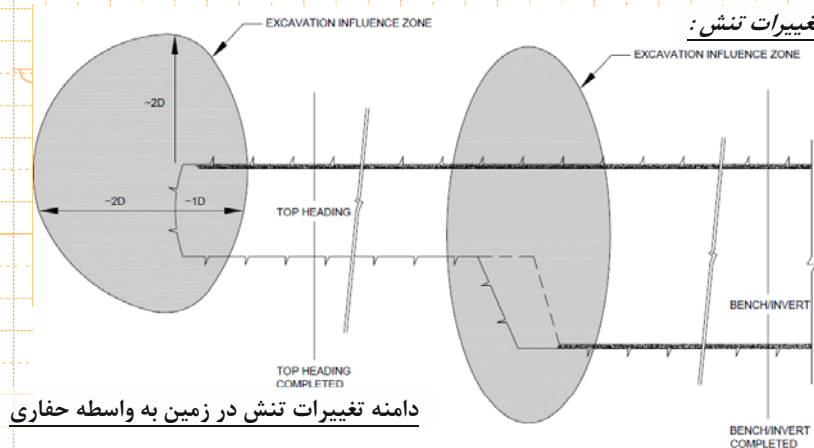
علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

۵-۶- روش تونل سازی اتریشی جدید

• حوزه تغییرات تنش:



• دامنه تغییرات تنش تابعی از جنس مصالح زمین و شرایط هندسی مقطع تونل بوده و معمولاً در اغلب حالات تا دو برابر قطر گسترش می یابد.

۴۳/۴۳

علی میرزایی

فصل ششم: تونل سازی در سنگ های سست

اصول مهندسی تونل

