

ئەندازىيار : نەبەز يوسف حمد

پىپۇرى : شارستانى

ژمارەى ناسنامە : 1275

بابەت : تونىل

الانفاق

بناء الانفاق

النفق tunnel هو ممر تحت سطح الأرض طوله أكبر من ضعف عرضه وهو مغلق من كل الجهات عدا فتحة في كل من نهايتيه وممرات جانبية للصيانة والإنقاذ.

نفذت الأنفاق في العصور الوسطى تحت القلاع والحصون من أجل استخدامها ممرات سرية وأحيانا للعبور تحت جدران هذه القلاع لمهاجمتها والدخول إليها. كما نفذت ومازالت تنفذ الأنفاق على أعماق كبيرة بوصفها ممرات تحت الأرض للوصول إلى مكامن فلزات المعادن الثمينة. واستخدمت الأنفاق أيضا في نقل المياه العذبة أو تصريف المياه العادمة كتلك التي نفذت في المدن القديمة كالقدس وروما وأثينا.

إضافة إلى استخداماتها القديمة شهد تنفيذ الأنفاق توسعا كبيرا بعد القرن الثامن عشر لحل مشكلات النقل بأنواعه حيث ساعدت على تجاوز العقبات والعوائق التي تظهر على سطح الأرض، ووفرت انتقالا مباشرا للناس والبضائع من دون الحاجة إلى الالتفاف حول هذه العوائق. ولهذا فإنها مازالت تنفذ تحت الجبال والأنهار والبحار والمناطق السكنية والصناعية المكتظة بهدف نقل الأشخاص والبضائع بالسيارات والقطارات ومن أجل مرور المياه أو أنابيب الغاز أو شبكات الكهرباء.

لمحة تاريخية:

شيدت كل الحضارات القديمة الأنفاق للتزويد بمياه الشرب أو للصرف الصحي خاصة، ومن أقدمها: - نفق الصرف الصحي بوادي الهندوس Indus Valley في مدينة موهنجو- دارو Mohenjo-daro الذي بني بين 0051-0052 قبل الميلاد.

- نفق تحويلة نهر الفرات الذي نفذه البابليون نحو عام 2100 قبل الميلاد حيث حفروا خندقا بطول 900م من القصر الملكي إلى المعبد الرئيسي وبنوا فيه ممرا من الأجر بعرض 3.6م وارتفاع 4.6م ومن ثم أعادوا النهر إلى مجراه الأول ليمر فوق النفق.

- نفق تزويد مدينة القدس بمياه الشرب بطول 535م، بني نحو عام 700 قبل الميلاد.
- بنى اليونانيون القدامى أنفاق مياه الشرب وكان أكثرها شهرة النفق الذي بني في جزيرة ساموس Samos في العام 530 قبل الميلاد حيث نفذ بطول 1000م في صخور من الحجر الكلسي وبطرضن من الداخل بأنابيب فخارية لجر مياه الينابيع إلى المدينة.

- كان المصريون القدماء من أكثر الشعوب طموحا في تنفيذ الأنفاق فاخترعوا العديد من الطرائق لحفر الصخور القاسية وقطعها، فمثلا يعود لهم الفضل في عام 1300 قبل الميلاد بقطع الصخور وفق سطوح محددة حيث كانوا يحفرون أخدودا في الصخور بعمق 10-50 سم ثم يحشرون أسافين خشبية فيه ويسكبون عليها الماء فيكبر حجمها وينشق الصخر وفق السطح المطلوب، ويعود لهم أيضا وضع تقانة قص الصخور بتسخينها بالنار عند سطوح محددة ثم تبريدها فجأة فيتشقق الصخر.

- تم تنفيذ العديد من الأنفاق في عهد الرومان من أشهرها النفق الذي بني في القرن الرابع قبل الميلاد بطول 1830م لتفريغ مياه بحيرة ألبانو Lake Albano حيث استخدم في تنفيذه خمسون نفقا مائلا لتسريع تنفيذ النفق الرئيسي ولتهويته. كما نفذ نفق الرومان الأعظم The greatest Roman tunnel في عهد كلوديوس الأول Claudius I ليصرف مياه بحيرة فوشينو Fucino الذي أنجز في عام 50 ميلادية بعد أحد عشر عاما من العمل شارك فيه 30000 عامل، وكان طول النفق نحو 5.6كم وتم تنفيذه من خلال أربعين نفقا شاقوليا.

- توقف تقريبا تنفيذ الأنفاق في العصور الوسطى لعدم توفر التقانات المناسبة للتعامل مع الصخور الطرية وبالتالي نفذت في هذه الفترة بعض الأنفاق كما في العصور القديمة في الصخور القاسية. وعلى الرغم من أن البارود استخدم أول مرة في أعمال التفجير اللازمة لتفتيت الصخور في ألمانيا من قبل مارتين فيغل Martin Wiegel في عام 1613 لكنه لم يلق رواجاً لأنه كان غاليا وصعب الاستعمال.

- بدأ عهد جديد لتنفيذ الأنفاق عند زيادة الطلب لتحسين النقل بوساطة الأقنية في الفترة بين 1760-1830، حيث استعمل البارود استعمالا واسعا في الأطلسي والبحر المتوسط في الأعوام 1679-1681 فتم حفر نفق بعرض 6.7م وارتفاع 8.8م وطول 155م.

بنى جيمس برندلي James Brindley في بريطانيا قناة بطول 17 كم افتتحت في عام 1761 لنقل الفحم من منجم ورسلي Worsley إلى مدينة مانشستر، وقد اشتملت القناة على نفق عند المنجم وآخر عند مدينة مانشستر. بني أول نفق كبير في الولايات المتحدة الأمريكية بين عامي 1818-1821 جزءا من قناة سسكها Susquehanna في بنسلفانيا Pennsylvania فكان طول النفق 135 م وارتفاعه 5.5 م.

تصنيف الأنفاق طبقا لاستخدامها

- أنفاق القطارات (قطار الأنفاق) railway tunnels:

تعد أنفاق القطارات من أهم أنفاق النقل، وتكثر عادة في المناطق الجبلية وتنفذ أحيانا للعبور تحت الأنهار أو لتجاوز المناطق السكنية المكتظة (الشكل 1).



الشكل (1)

- أنفاق الطرق highway tunnels:

مع زيادة حركة السير على الطرق الرئيسية ومع تطور صناعة السيارات أصبح تنفيذ هذا النوع من الأنفاق لاختراق المناطق الجبلية أو تحت المجاري المائية (الأنهار) أو تحت الساحات والمناطق المكتظة ضرورة ملحة لتشكيل استمرارا مباشرا للطرق (الشكل 2).



الشكل (2)

- أنفاق المشاة pedestrian tunnels:

ينتمي هذا النوع من الأنفاق إلى أنفاق الطرق لكن مقطعها العرضي أصغر لأنها غير مخصصة لمرور السيارات بل يستخدمها المارة وبالتالي ليس من الضروري أن تكون مقاطعها العرضية كبيرة أو ميلوها الطولية صغيرة، ويمكن أن تنتهي بأنفاق شاقولية تحتوي على مصاد لنقل المارة من خلالها إلى سطح الأرض (الشكل 3).



الشكل (3)

- أنفاق المحطات الكهرمائية: hydroelectric plant tunnels

يتم تحويل مياه الأنهار وتمريها عبر أنفاق تصل عادة بين خزان مياه reservoir عالي المستوى إلى محطة لتوليد الطاقة الكهربائية تقع في مستوى منخفض. يصمم المقطع العرضي لهذه الأنفاق على شكل حذوة حصان أو دائري ليتحمل ضغط المياه العالي الناتج من الفرق الكبير بين مستوى المياه في الخزان ومستوى محطة توليد الطاقة.

- أنفاق تزويد المياه water tunnels

تستخدم هذه الأنفاق لنقل مياه الشرب بالجريان الحر من الينابيع أو الأنهار إلى خزانات تجميع المياه في المدن مثل نفق مياه عين الفيحة الذي يجر مياه نبع عين الفيحة إلى مدينة دمشق الذي انتهى تنفيذه في عام 1981 بطول 14.5 كم وبقطر 2.55م (الشكل 4).



الشكل (4)

- أنفاق مياه المجاري (الصرف الصحي - شبكات) sewer tunnels

تنفذ هذه الأنفاق لتصرف المياه الناتجة من الاستخدامات المختلفة (مياه عادمة) sewage، وهي تشبه أنفاق التزويد بمياه الشرب من حيث إن الجريان فيها يتم تحت تأثير الفرق بين المستويات، ولكن يجب حماية جدران هذه الأنفاق بطلائها بمواد خاصة لأن المياه المصروفة تكون محملة عادة بمواد عدوانية تؤدي إلى تآكل المواد المكونة لجدران الأنفاق.

- أنفاق الخدمة utility tunnels:

تنفذ هذه الأنفاق عادة في المدن ليمرر فيها كابلات الطاقة والهاتف وأنابيب الماء والغاز (الشكل 5)، ويمكن أن تتسع لمرور آلية أو عربة من قياس معين تستخدم في أعمال الكشف عن الأعطال والصيانة. ويختلف هذا النوع من الأنفاق عن الأنفاق السابقة بطريقة الدخول والخروج من النفق حيث يتم غالبا الوصول إلى سطح الأرض عبر أنفاق شاقولية shaft.



(الشكل 5)

أطول الأنفاق في العالم:

- يعد نفق سيكان Seikan Tunnel في اليابان أطول نفق قطارات في العالم حيث بلغ طوله 53.9 كم منها 23.3 كم تحت البحر.
- يعد نفق القناة Channel Tunnel بين فرنسا وبريطانيا ثاني أطول نفق قطارات في العالم بطول 50.5 كم منها 39 كم تحت البحر.
- ويعد نفق لردال Laerdal Tunnel في النرويج أطول نفق سيارات في العالم بطول 24.5 كم.
- ويعد نفق جونغان شان Zhongnanshan في جبل جونغان في الصين ثاني أطول نفق سيارات في العالم بطول 18.04 كم.
- كما يعد نفق القديس غوتهارد St.Gotthard Tunnel في سويسرا ثاني أطول نفق سيارات بطول 16.32 كم.
- يعد نفق هسووشان Hsuehshan Tunnel في شمال تايوان أطول نفق سيارات في آسيا بطول 12.955 كم.

التحريات الجيولوجية geological investigation

قبل تنفيذ أي نفق لابد من إجراء تحريات جيولوجية مستفيضة للموقع المختار لتقدير المخاطر التي يمكن مواجهتها وللتأكد من شروط التربة والمياه الجوفية. ومن أهم العوامل - إضافة إلى أنواع التربة والصخور التي تحدد سلوك كتل الصخور ما يأتي:

- حجم كتل الصخور بين نقاط اتصالها rock joints.
- تحديد الطبقات والمناطق الضعيفة مثل الصدوع والمناطق المجواة (المتأثرة بالعوامل الجوية).
- طبقات المياه الجوفية وكميتها و نوعها ونمط جريانها وضغطها.
- دراسة بعض المخاطر الخاصة كالحرارة والغازات والهزات الأرضية.

تقسم التحريات إلى تحريات جوية و سطحية وعميقة حيث تحفر سبور (آبار) عميقة deep borings يتم من خلالها تعرف طبقات الأرض وخصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية. عندما تكون الشروط الجيولوجية معقدة ومقطع النفق العرضي كبيرا يصبح تنفيذه مكلفا جدا وأحيانا غير عملي، ولهذا يجب تنفيذ برنامج تحريات جيولوجية مكثفة في مرحلة التصميم للتأكد من الشروط الجيولوجية على طول مسار النفق. وتستمر التحريات الجيولوجية في أثناء التنفيذ بحفر نفق استكشافي pilot bore في مقدمة النفق المزمع حفره، وقد يؤدي ذلك في كثير من الأحيان إلى معلومات جيولوجية جديدة تحتم تغيير التصميم الأصلي للنفق.

عندما يكون النفق غير عميق من سطح الأرض يصبح تنفيذ سبور شاقولية لتجري الطبقات من سطح الأرض حتى تلك التي سيحفر فيها النفق أمرا ضروريا وعمليا. ولهذا في أغلب الأنفاق غير العميقة تنفذ سبور على طول محور النفق عند مسافات بين 30-150 م لأخذ عينات غير مضطربة من التربة والصخور لتحديد خصائصها الهندسية المختلفة كمقاومتها ومساميتها، وكذلك لتحديد مستوى المياه الجوفية وكميتها ونوعيتها.

تنفيذ الأنفاق:

بعد تحديد مسار النفق وإنجاز التحريات الجيولوجية لطبقات التربة والصخور يصمم شكل المقطع العرضي للنفق وهيكله الإنشائي ليقاوم الأحمال المنقولة إليه نتيجة الإخلال بعملية التوازن بين الصخور في أثناء حفر النفق. وعموما يتم اختيار مقطع عرضي دائري أو قريب من ذلك ليقاوم القوى الخارجية والداخلية، وتنفذ أعمال الحفر في الصخور القاسية جدا بالثقيب والتفجير. تتم أعمال الحفر في الصخور المتوسطة القساوة بواسطة مكينات حفر الأنفاق tunnel-boring machine، أما في الصخور والتربة الطرية فتنفذ بواسطة درع advancing shield يتقدم فيضغط التربة إلى داخل النفق. وفي جميع الأحوال تجمع نواتج الحفر(الأنقاض)muck وتنقل إلى خارج النفق.

تنفيذ الأنفاق في الصخور الصلبة hard rock tunneling

تنفذ الأنفاق القصيرة فقط من بوابة النفق، في حين يتم تنفيذ الأنفاق الطويلة بمساعدة أنفاق شاقولية إضافية أو بمساعدة نفق صغير pilot tunnel مواز للنفق الرئيسي ويتصل به عند عدة نقاط. يعد النفق الصغير نقاط عبور للنفق الرئيسي وطريقا لنقل الأنقاض ومجاري التهوية وخطوط الصرف.

عندما يكون المقطع العرضي للنفق كبيرا ينفذ الحفر على مرحلتين متتاليتين أولاها للجزء العلوي من المقطع العرضي heading، تتبعها الأخرى للجزء السفلي bench مما يسمح بتزامن أعمال الثقيب للمتفجرات في الجزء العلوي والترحيل في الجزء السفلي. وعندما تطورت طرائق تنفيذ الأنفاق ومعداتها صار من الممكن تنفيذ أعمال الحفر على كامل المقطع العرضي full-face وذلك بعد اختراع آلة حفر الثقوب العملاقة الجامبو jumbo، وهي منصة متحركة ركب عليها أذرع ثقيب عملاقة (الشكل 6) تستطيع تنفيذ ثقوب لتزرع فيها المتفجرات على كامل وجه النفق (المقطع العرضي) دفعة واحدة.



(الشكل 6)

تحفر ثقوب التفجير بقطر بضع سنتيمترات بواسطة مثاقب فولاذية دوارة مع ضخ للماء عبر ثقب عند رأس المثقب فيبرده من جهة ويخفف كمية الغبار الناتج من الحفر. يراوح عمق الثقوب بين 1.2م و3.5م، ويؤدي نوع الصخور دورا أساسيا في تحديد عمق الثقوب فيقل العمق عندما تكون الصخور ضعيفة ومفككة، وفي كل الأحوال يجب ألا يزيد عمق الثقوب على عرض النفق.

تنفذ الثقوب عادة طبقا لنمط أو شكل محدد مسبقا وذلك طبقا لنوع الصخور وشكل طبقاتها، ويتم التفجير وفق تتابع زمني محدد، وذلك بغية الحصول على أكبر كمية من الحفر في عملية تفجير واحدة. وقد جرت العادة أن تنفذ مجموعة من الثقوب المائلة إلى الداخل على شكل حلقة في مركز وجه النفق وأن يتم تفجيرها أولا ومن ثم يتبعها بتأخير زمني قليل تفجير الثقوب الأبعد عن المركز والتي تميل إلى الخارج، وذلك باستخدام صواعق تفجير تأخرية، ويعتمد مقدار هذا التأخير على طبيعة نوع الصخور.

يستخدم الديناميت المتفجرات dynamite استخداما واسعا في أعمال التفجير في حفر الأنفاق ويكون على شكل قضبان بقطر 3سم وبطول 23سم. تحشر هذه القضبان في الثقوب المعدة بواسطة قضبان خشبية ومن ثم تفجر كهربائيا وفقا لتسلسل زمني محدد تتحكم به صواعق تأخيره.

يتم إزالة الصخور المخربة بالتفجير بواسطة آليات كهربائية مخصصة، وفي بعض الأحيان عندما تكون تهوية النفق جيدة تستخدم الآليات التي تعمل على الديلز لرفع نواتج الحفر ونقلها إلى خارج النفق.

يجب تدعيم النفق مع استمرار الحفر في أغلب شروط الصخور عدا حالة التشكلات الصخرية القاسية لأن التدعيم يمنع تساقط الصخور في أثناء أعمال التفجير التالية ويسند كتل الصخور التي ضعفت نتيجة أعمال الحفر. استعمل التدعيم الخشبي مع بطانة من الأجر في مرحلة ما، وفي مرحلة لاحقة استعمل التدعيم المعدني أو البيتوني مع بطانة من البيتون المسلح (الخرسانة). وفي كثير من الأحيان استعملت قضبان roof bolts لتثبيت كتل الصخور مع بعضها خاصة في منطقة السقف حيث يتم إدخال هذه القضبان في ثغوب معدة مسبقا تحقق في أغلب الأحيان حولها مادة رابطة لضمان التماسك بين هذه القضبان وكتل الصخور.

بعد الانتهاء من أعمال التدعيم تنفذ للنفق بطانة خرسانية، وتؤجل هذه البطانة عادة إلى ما بعد الانتهاء من أعمال التثقيب والتفجير والترحيل إلا إذا كان هناك حاجة إلى البطانة الخرسانية لسند الصخور الضعيفة. تصنع القوالب الخاصة لصب هذه البطانة من الخشب أو الحديد وفي كثير من الأحيان تتركب هذه القوالب على سكك من أجل سرعة حركتها، وأحيانا أخرى تصنع قوالب متحركة تلسكوبية telescope بحيث يدخل جزء القالب غير المستخدم تحت الجزء المستخدم ويحرك إلى موقع متقدم ليرفع هيدروليكيًا إلى الارتفاع المناسب وتصب الخرسانة بينه وبين الفجوة المحفورة (الشكل 7).



(الشكل 7)

تنفيذ الأنفاق في الأرض الطرية soft-ground tunneling

وتشمل الأنفاق التي تحفر في الصخور الطرية أو التراب بجميع أنواعها، ولا تحتاج إلى أعمال التفجير التي ذكرت في الفقرة السابقة. ويشتمل حفر هذا النوع من الأنفاق على مخاطر عديدة نتيجة الانهيارات التي يمكن أن تحدث في أثناء تنفيذ أعمال الحفر، ولهذا يدعم سقف النفق وجدرانها بأسطوانة فولاذية تدعى الدرع shield ليتحمل ضغط التربة الطرية. يتألف الدرع من غلاف من الصفائح الفولاذية على شكل أسطوانة تقسم إلى ثلاثة أجزاء تختلف بصلابتها ومرتبته طبقاً للغاية منها وهي:

- **الجزء الأمامي:** مقوى بفلادز مصبوب ليشكل النهاية القاطعة cutting edge (الشكل 8)، مهمته الأساسية تسهيل تقدم الدرع وتوجيهه باختراق التراب والصخور، ومهمته الثانوية توفير ملجأ آمن لعمال الحفر. تمتد النهاية القاطعة بضع أقدام أمام حاجز diaphragm مدعم بقوة يحتوي على عدة فتحات تستخدم في حفر الصخور والأتربة الواقعة أمام الدرع.



(الشكل 8)

- **الجزء الوسطي:** يوفر حجرة لمعدات الدفع الهيدروليكية وأجهزته.
 - **جزء الذنب:** يساعد على بناء بطانة النفق، خاصة إذا كانت من النوع الذي يركب من أجزاء مسبقة الصنع.
 يلحق بالدرع عادة تجهيزات حفر ورفع للأنقاض وسيور ناقلة ومعدات لتركيب بطانة النفق والحقن خلفها.
 وحديثاً تم تزويد هذا النوع من الآلات بأذرع هيدروليكية تقوم بالحفر أمام الدرع كما في الشكل (9).

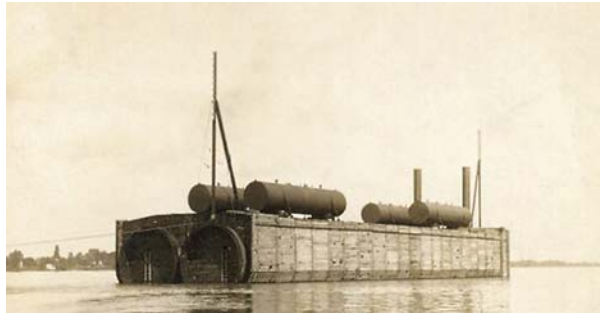


(الشكل 9)

تتألف دورة العمل cycle of operation من دفع إلى الأمام ثم تبطين النفق ثم ترحيل الأنقاض. ويستخدم في التبطين قطع من الخرسانة مسبقة الصنع تتركب وتجمع مع بعضها ببراغ من أجل التدعيم المناسب لجدران النفق وسقفه، ولضمان كثامة ضد تسرب الماء بعد أن تغلق الفواصل بين القطع بمواد كتيمة خاصة.
 يؤدي حفر الأنفاق في الأرض تحت الأجسام المائية إلى تسرب كمية كبيرة من المياه إلى داخل النفق في أثناء تشييده ولمنع ذلك يتم ضخ كمية كبيرة من الهواء عند رأس النفق للحصول على ضغط عال يفوق ضغط الماء في خارجه فيتوقف تسرب الماء. استخدمت هذه الطريقة في تنفيذ أنفاق القطارات تحت نهر التايمز في لندن وكذلك تحت نهر إيست ريفر في نيويورك.

تنفيذ الأنفاق المغمورة sunken-tube tunnel

تنفذ الأنفاق المغمورة بحفر خندق في قاع نهر أو أي جسم مائي ثم يجري تعويم أجزاء النفق الفولاذي أوالخرساني مسبق الصنع المقفلة الأطراف (الشكل 10) حتى تصل إلى المكان المناسب فوق الخندق فترسى في المكان المخصص لها في الخندق وتجمع الأجزاء لتشكيل نفقا تحت الماء. استخدمت هذه الطريقة في نفق نهر ديترويت Detroit في الولايات المتحدة الأمريكية الذي تم بناؤه بين عامي 1906- 1910.



الشكل (10)

تنفيذ الأنفاق قليلة العمق shallow tunnels

يكون عمق النفق عن سطح الأرض عادة في المدن قليلا بغية تسهيل وصول الركاب وأعمال الصيانة، لذا يحفر خندق على طول النفق وينفذ فيه هيكله الخرساني المسلح ثم يعاد ردم التربة حوله بعد تنفيذ طبقات عزل مائي مناسبة له من الخارج. تسمى هذه الطريقة بطريقة الحفر ثم الردم cut-and-cover كما في الشكل (11). وفي هذه الحالة يصمم الهيكل الإنشائي للنفق ليحمل كل وزن التربة فوقه لأن الفعل القوسي في التربة لم يعد موجودا بسبب تخرب التربة عند حفرها.



الشكل (11)

تنفيذ الأنفاق بواسطة آلة الحفر (TBM) Tunnel-Boring Machines

استعملت أول مرة عام 1883 من قبل المهندس البريطاني فريدريك بومونت Frederick Beaumont عندما بدأ التفكير بتنفيذ نفق تحت القناة الإنكليزي. على الرغم من أن العمل أوقف في حينها فإن آلة الحفر TBM شكلت نجاحا غير مسبوق حيث كانت تحفر 15م من طول النفق يوميا. استخدمت آلات الحفر TBM بعد عام 1960 عندما صارت مكننة تنفيذ الأنفاق ضرورة ملحة نتيجة ارتفاع أجور العمال ارتفاعا كبيرا وزيادة الطلب على تنفيذ الأنفاق. تستعمل آلات TBM لحفر الأنفاق ذات المقطع الدائري في كل أنواع الصخور والتراب بدءا من الصخور القاسية جدا حتى الترب الرملية ويقطر من 1.5م حتى 15م. والحفر بهذا النوع من الآلات لا يؤدي إلى اضطراب الترب المحيطة بالنفق ويضمن سطوح حفر ناعمة مما يخفض تكلفة تبطين النفق إلى حد كبير، أما سيئة التنفيذ بهذه الطريقة فهي كلفتها المرتفعة. تتكون آلة TBM عادة من درع أو درعين (أسطوانة فولاذية كبيرة) وآليات mechanisms استناد. يتقدم الدرع قرص قاطع دوار مثبت عليه أسنان حادة يعمل مثقبا عملاقا (الشكل 12). تدخل نواتج الحفر (الأنقاض) إلى حجرة خلف القرص الدوار ليصار إلى ترحيلها على سيور متحركة أو مزجها بالماء وضخها بانابيب إلى خارج النفق وذلك طبقا لنوع الأنقاض.



(الشكل 12)

استخدمت أنماط مختلفة من آلات TBM في حفر العديد من الأنفاق مثل:

- حفر نفق مائي يمثل جزءا من سد آوه Oahe Dam على نهر ميزوري Missouri بقطر نحو 9م عام 1960.
- حفر نفق مائي يمثل جزءا من سد منغلا Mangla Dam في باكستان بقطر 11م في بداية الستينات من القرن العشرين. استخدمت المكنة نفسها في حفر نفق تحت نهر ميرسي Mersey في إنكلترا في مطلع سبعينيات القرن ذاته.
- حفر نفق القناة The Channel Tunnel بين بريطانيا وفرنسا تحت القناة الإنكليزي ويتألف من ثلاثة أنفاق متوازية منها نفقان للقطارات بقطر 7.6م والثالث للخدمات بقطر 4.8م يقع بين النفقين السابقين ويتصل بهما بممرات عرضية كل 375م تقريبا. تم إنجاز المشروع عام 1994 بعد أن استخدمت في حفره إحدى عشرة آلة TBM.
- يتم اليوم استخدام آلتين TBM بقطر 15.2م في حفر الأنفاق على الطريق المحلق بمدينة مدريد وألتين أخرتين بقطر 15.4م في حفر نفق منغ Ming في مدينة شنغهاي في الصين.

الباحث : المهندس المدني نةبقر يوسف حمد .