

## 介紹

### 1. 使用範圍：

全斷面隧道鑽掘工法係利用全斷面鑽掘機進行隧道開發之施工方法。隧道鑽掘機 (Tunnel Boring Machine, 簡稱 TBM) 以切削轉盤 (Cuffehead) 進行連續之旋轉切削前方地層，搭配出渣系統，立即將開挖渣料後送運出隧道，於機身後側裝設有環片組裝機等設備可於開挖後立即架設環片，鋼護帶 (Stnp) 岩釘等支撐設施。因此可連續進行隧道之開挖與支撐作業，運用於長隧道施工尤見效果。使用 TBM 成功的要素除地質條件、機械設計外，還須具有專業素養的施工人員、周詳的施工規劃、良好的施工管理等相互配合，始能發揮快速與經濟的雙重成效。

TBM 之設計需考量切削岩體之硬度、磨耗性等，以選用適當之削刀 (Rollen Disc)、切削馬達、軸承等旋切系統之設計。其施工能力自然會因所開挖之岩體性質而有差異，一般均需依個案地質構造予以設計或作局部改裝 (由機具)。適於 TBM 開挖的地質最好具有中等強度、高均質性、低硬度 (磨損)、少節理、無斷層、少地下水等條件。

TBM 大體上可依切削頭及盾殼的種類區分為開放型 (open type) 及密閉型 (closed type) 兩種。

開放型 TBM 用於地質條件較佳，預期無膨脹性或擠壓性地質或無大量湧水的隧道。密閉型 TBM 用於地質變化較大，存在膨脹性或擠壓性地質或大量湧水的隧道。密閉型 TBM 機身外周以鋼製盾殼包覆，以防止遭遇周圍岩盤鬆動時損及人員機械，一般多配合混凝土環片作為支撐，盾殼又分單節盾殼 (single shield)、雙節或伸縮式盾殼 (double shield or telescopic shield)。

單節盾殼與主機連成一體，TBM 前進時盾殼及支撐安裝設備亦隨同移動，所以安裝環片時需要停止前進。雙盾殼 TBM 為多採套筒式的兩節盾殼所組成，前節盾殼隨同切削轉盤的挖掘前進而移動，後節盾殼則用以頂撐岩壁成支撐於環片支撐上以提供前節盾殼之推進反力，俟完成一單元長度鑽掘後於後節盾殼組立環片，俟環片裝妥後即完成一作業循環。

TBM盾殼當遭遇較大之剪裂帶及斷層材料時，局部鬆動，坍塌之石料擠壓TBM切削旋轉或致切削扭力負荷大增，超過機械負荷時即無法鉗掘，另因局部鉅大偏壓使TBM無法順利推進致使遭夾埋的可能性大增。此時大多需對岩盤加以改良，當進行地質改良時，對於技術上受到的限制、改良的效果、改良所需的巨額工程費及TBM增加的閒置時間，是TBM施工中所需面對的最大問題。

坪林隧道主坑採用直徑11.74公尺的全斷面雙盾式硬岩隧道鑽掘機，全長含支援系統約240公尺，總重量達2,500公噸，共有83個削刀座，2個獨立推進系統與開挖方式。地質條件較佳時，可以撐座側撐於岩盤以提供所需的反作用力，同時進行開挖與環片組裝作業，如在地質較差時則採用單盾式作業，利用盾尾輔助千斤頂推頂環片以提供推力進行開挖，開挖完成後再進行環片組裝作業。

## 2. 解釋名詞

- (1) 切削轉盤(cutter head)：為一可轉動的整體鋼製轉盤，位於主機的最前端，前面裝設數十個削刀以供擠壓並刮裂岩盤。
- (2) 削刀(cutter disk)：為直徑數十公分的鎢碳鋼環型圓盤，裝於切削頭盤面上與開挖面直接接觸，其數量與配置型態視岩石特性而設計。切削頭旋轉後削刀的相鄰痕跡約在8至10公分，通常配置在外環的削刀需要突出切削頭轉盤的外緣，以便開挖後的斷面比切削頭略大，使盾殼不致與岩面直接接觸，減少摩擦阻力。削刀為實際切割岩石的利器，使岩石發生剪力破壞而剝落。削刀為磨耗品，需要經常卸換，但於鑲鋼後可再使用，其碳鋼含量視岩石的硬度而定。
- (3) 軌道裝置：供TBM掘削出土石運送至隧道外之設施，包括動力車、運碴台車、軌道及附屬配件。軌道裝置相關危害及防止對策詳見本安全資料表「軌道裝置」篇。
- (4) 驅動系統：為旋轉切削頭的主要動力系統，如以電力驅動，須為高壓供電；也有以油壓驅動者。
- (5) 撐座(gripper)：TBM的前進在岩盤好時須藉撐座支撐岩壁前進，以千斤頂於撐座緊壓於隧道側壁上，利用其與側壁間的磨擦力形成TBM前進的反力。反力座承壓板的面積、組數及位置視岩盤的強度而定，如為軟弱岩質，頂緊後有陷入之虞，提供的反力可能不足，需改以推進千斤頂支壓於環片上作為輔助反力座。

- (6) 前進千斤頂(jacking)：前進千斤頂有數個，平均分配於切削轉盤的周圍後方，提供對開挖面的壓力，並使切削頭前進。完成一次衝程(1.5至2公尺)後，收縮千斤頂將後盾殼向前拉進。
- (7) 輸送帶(conveyor)：削刀剪碎的岩屑，掉落切削頭與岩盤間的縫隙，並由切削頭的刮板導入後方的漏斗，再由輸送帶後送至出碴車運出隧道外。
- (8) 仰拱環片：為便於開放型TBM支援系統順利通過，TBM主機部份的尾端須鋪設仰拱環片及鐵軌，考慮碴車的重量及行車穩定性的要求，將仰拱環片改為較大型式，並將環片前端粘貼PE發泡圓條作為止水封。
- (9) 旋轉倒碴裝置：隧道外工作平台區設置一旋轉倒碴裝置，可使出碴車得以180°旋轉傾倒碴料，無需與其他碴車脫離。
- (10) 貫入率(公尺/小時)：TBM掘進長度(公尺)/TBM切削時間(小時)。
- (11) 使用率(%)：TBM切削時間(小時)/總工作時間(小時)\*100%。
- (12) 掘進率(公尺/小時)：TBM掘進長度(公尺)/總工作時間(小時)，為貫入率與使用率的乘積。
- (13) 全環狀鋼支保：當地質狀況惡劣，在開放型TBM切削頭的盾殼後方岩盤出露時，立即施作全環狀鋼支保及鋼線網，以便即時閉合支撐，避免岩盤進一步惡化。
- (14) U型槽鋼：當地質狀況普通，在開放型TBM切削頭的盾殼後方岩盤出露時，立即利用岩栓將U型槽鋼及鋼線網固定於岩盤面上，可將小型岩塊鎖住，以避免誘發大型岩楔坍塌。
- (15) 岩栓：利用TBM後端之鉗機鉗孔後裝設岩栓，以提高圍岩之支撐效果，一般多採機械岩栓，使安裝簡易且可立即發揮支撐功能，除了可固定U型槽鋼外，亦具有頂拱岩栓支撐功能。
- (16) 噴凝土：乾式噴凝土施噴時會發生粉塵及反彈料，所以施噴位置須距開放型TBM主機較遠處。另於仰拱環片兩側加噴1公尺寬5公分厚的噴凝土，以避免隧道側壁的滲水及排水溝的廢水滲入仰拱環片底部，造成仰拱岩盤軟化，甚至造成碴車出軌的問題。

## 危害

### 1. 潛在危害、災害類型、災害防止對策：

本施工法之潛在危害有：(1)開挖面崩塌、倒塌與落磐，(2)墜落或滾

落，(3)爆炸、火災，(4)感電，(5)被撞、被夾、被捲，(6)其他隧道災害。

(1) 物體崩塌、倒塌與落磐：造成TBM隧道之物體崩塌、倒塌與落磐主要成因包括：於TBM機具組裝時因鋼材組立不確實，或因移動中因滑軌不正常而致倒塌；於TBM削掘時因出土太快、急劇擾動鬆軟岩盤，造成滑動崩塌，或因地質不穩定、大量湧水後崩塌，或因支撐失敗造成崩塌；於出碴時因裝碴或卸碴之吊架因結構失敗倒塌，或因輸送帶或架因負載或鏽蝕、老化斷落而致倒踢；於環片組裝、背填粒料時因豪雨發生，沿地質破碎帶節理滲入大量雨水或地下水，土壓增加形成落盤，或因環片失敗，壓力過大形成落盤。

防止對策：

- A. 於TBM組裝時建議加強檢核設計、場地整理、品管作業及作業管理。
- B. 於TBM削掘時並進行斷面之監測，以降低開挖面之崩塌、倒塌與落磐。
- C. 於TBM削掘、出碴及環片組裝、背填粒料時時應依據不同地質狀況採取應變方式，並加強各類保護措施與加強支撐應力與環片材質之校核、加強品管檢查與維修工作。
- D. 除了儘速做背填灌漿外，亦應持續進行觀測，尤其於暴雨或持久降雨期間及過後應增加水位及應變計的監測頻率，及早採取防災措施。

(2) 墜落或滾落：造成TBM隧道之墜落或滾落主要成因包括：於TBM機具組裝時因工作架及支撐缺陷或不良，或因工作人員作業位置、方法不當致摔倒滾落，或工具、材料掉落而致倒踢；於出碴時因人員任意搭乘出碴車上，轉彎或煞車時易墜落，或因運輸路線路況不良、車身顛頗，乘員甩出，或因軌道維護不良、碴車出軌，乘員受傷；於環片組裝、背填粒料時因吊車架及支撐缺陷或不良，或因工作人員作業位置、方法不當致摔倒滾落，或因作業疏失而致工具、材料掉落或人員墜落。

防止對策：

- A. 於TBM組裝時建議加強安全防護措施(如設置護欄)，並要求施工人員佩戴安全帶、限制非工作人員進入工作範圍；並應定期

實施安全講習以加強安全宣導。

B. 於TBM出碴階段應加強教育訓練及宣導、加強道路維護、豎立警告牌限制車速與加強路軌維修。於環片組裝、背填粒料時應期實施安全講習以加強安全宣導。

(3) 爆炸、火災：造成TBM隧道之爆炸與火災之意外事件之可能成因包括：於TBM削掘時因斯突出並遇火源，引起火災或爆炸，或因電氣火花引燃易燃物，或因油氣過多且通風不良引起爆炸，或因有害物攜入因火爆炸，或因氧氣、乙炔未放妥而致爆炸或火災。

防止對策：

A. 於施工階段應加強環境偵測、及早預警，並自動檢查及環境整潔，加強通風、增進消防及緊急應變能力，加強攜入物管制，落實自動檢查作業。

B. 香煙、火柴、打火機、及呼叫器(B. B. CALL) 等禁止攜入TBM前方。

C. 隧道內應建立「動火許可制度」在使用氣體切割、電焊等作業必須先經檢測確認無虞後方可作業。

D. 施工時因摩擦、打擊產生之火花必須避免，必要時可採局部集中送風措施來稀釋或吹散可燃氣體。

E. 隧道內之機具、設備、及施工人員的工作服需採用不會產生靜電之材料製成，防止因靜電而產生火花，工作人員應定時將兩手觸碰開挖岩面以消除靜電。

F. 進入隧道內需做好人員管制，非施工人員禁止入內，並於洞口設置管制哨及警示標誌。

(4) 感電：TBM施工時可能發生感電之原因包括：於TBM機具組裝時因非電氣人員任意接電，施工不慎，挖或鑽破電線漏電，線路為尖銳物件割破，地面積水導電，或因電氣設備或工具未設漏電斷；於坑內排水不良而致感電，開炸或機具碰撞使帶電導體裸露而感電，用電機具設備故障漏電，供電系統未設置適當的防護而致人員感電。於TBM削掘時與背填灌漿時因非電氣人員任意接電或修理用電設備、機具，修理電氣設施前未斷電或掛警示牌，未著用電氣安全裝備或裝備有瑕疵，線路為尖銳物件割破，地面積水導電，或因電氣設備或工具未設漏電斷路器或接地線而致感電；

防止對策：

A. 隧道內所使用之供電系統應設置漏電斷路器，並定時檢查所使用之電力設備，如有故障或破損應立即檢修。

B. 電力機具與設備周邊應設置護圍及明顯之警告標誌。並應加強教育訓練、作業前檢查、作業管理、場地整理與排水等工作。

- (5) 被撞、被夾、被捲：造成TBM隧道作業之被撞、被夾、被捲主要成因包括：機具操作不當或錯誤，作業程序不當，作業人員精神恍惚而致被夾與被捲，坑內照明不良，隧道施工機具保養不良等。

防止對策：隧道內之作業循環應依據相關安全作業標準、規定執行，並透過教育訓練提高作業人員之安全意識。

- (6) 其他隧道災害：此類型隧道災害包括高溫、噪音等。

防止對策：採取通風措施，並依法令規定給予休息並供應攝氏15度之飲水及食鹽；另提供勞工使用噪音防護具。

## 2. 相關作業環境之危害：

全斷面隧道鑽掘施工作業環境之危害有：(1)與有害物接觸，(2)異常湧水。於此敘明其內容如下：

- (1) 與有害物接觸：隧道內有害物因含碳化地盤開挖而溢出瓦斯，噴凝土與開炸作業所產生之有害氣體，開挖之土質、岩石屬還原性成分，致吸收氧氣造成缺氧空氣，與防水膜施工所產生之有害氣體。

防止對策：隧道內應依據相關規定定期檢測坑內空氣含量，並加強坑內通風設備。

- (2) 異常出水：山區之降水或地下水位高，經由地層裂隙、斷層破碎帶等之開挖，均可能造成異常出水，或引致開挖面之崩蹋、落盤、水量過大，而致機具異常沈降，及人員逃避不及，而造成溺水之災害。

防止對策：

A. 加強地質研判並及早預警採取對策(如改變施工法或灌漿等)。

B. 加強支撐應力與環片材質校核、加強品管。並依計畫安裝充足之抽水機。如異常出水超出預期，依預擬計畫撤退。

## 作業程序(流程圖詳圖1 )

嚴密週詳的安全措施是防止意外事故發生的最有效方法，工程進行中，除應注意工地設施的維護外，對於人員、機具及施工材料等，也應予以妥善維護，避免發生意外事故。施工安全的有關措施，除應依照相關法規施行外，有關施工中所應具備的安全知識及措施，也應多加宣導及執行，使任何進入工地的人員，均能有『安全第一』的觀念，確保施工安全。

### 1. TBM組裝作業：(見照片1、照片2)

- (1) 盾殼兩側應加設工作台架，以免高處作業人員滑落。
- (2) 隨時清除盾殼頂部或現場其他地方的油漬及砂土，以免人員滑倒、墜落或重物滑落擊中下方人員。
- (3) 必要時應配掛安全帶。
- (4) 組裝人員應注意腳踏處之穩定性，踏板損壞應立即更換。
- (5) 起重作業應有人監督、指揮，並隨時提醒注意安全，閒雜人不得靠近有飛落危險的範圍，並嚴禁操作手於負載懸吊時離開起重機或吊車。

### 2. TBM削掘：

- (1) 開機前必須先確定所有人員皆已離切削轉盤(Cnffnhead)移(轉)動之機械設備，如輸送帶、環片組裝機等。
- (2) 警示燈或儀表出現不正常訊息時應馬上停機檢視，以免造成人員受傷或機具損壞。
- (3) 開機的鑰匙必須確定只有一把，操作手離開控制室時須確定已關機，並將鑰匙隨身攜帶。
- (4) 進入切削轉盤前方工作的第一人必須確定已關機、上鎖(lockout)、上標籤(tagout)，並且持有鑰匙，而且該員是在工作完畢後，最後一位離開切削轉盤者。
- (5) 輸送帶有異狀應先通知控制室停機，輸送帶附近工作應注意防止衣物被捲入，輸送帶維修應派二人一組互相照應。
- (6) 電氣作業應由合格專業人員擔任，漏電斷路器應定期測試其性能，避免濕手操作電動機具、開關或觸摸線路接頭。

### 3. TBM出碴及運搬：(見照片5)

- (1) 出碴及運搬列車行走於仰拱環片的雙軌上，對向行車間距小，須注意車上物品或人員手腳避免凸出於對向車道中而發生危險。

- (2) 雙軌道一進一出可避免對撞，但仍應控制行車速度避免追撞。
  - (3) 駕駛應注意四周環境，軌道上是否有人行走或障礙物，禁止戴防礙聽覺的掩耳物以維行車安全。
  - (4) 禁止攀附於行進中列車，禁止非軌道維修工作人員在軌道上行走，禁止分合或調整移動中列車的聯結器。
  - (5) 出碴作業現場應隨時清理以免人員行走滑倒。
  - (6) 經常檢查軌道以避免列車出軌，檢查出軌或出軌後復原作業皆須謹慎及安排保護措施。
4. 環片組裝：(見照片3、照片4)
- (1) 組裝環片先期準備階段：此階段主要作業包括
    - A. 利用TBM鑽掘期間運送環片進組裝預備區及鋪設道版。
    - B. 推進完成，縮後盾及仰拱輔助唧筒後，儘速清理仰拱底部落碴。
    - C. 丈量主推力唧筒的伸長量，使其近乎相等，否則請TBM操作手調整，以確定前後盾身位態正確。
    - D. 丈量環片與尾盾前座的距離以調整環片的組裝位置，丈量位置可在唧筒處或環片接縫處。
    - E. 為使組裝手能迅速順利扣緊環片，預先在環片上用油性筆劃標記。
  - (2) 組裝環片安裝準備階段：此階段主要作業包括
    - A. 利用環片組裝機先裝仰拱環片。
    - B. 伸輔助唧筒頂住環片後，收組裝機並背填仰拱粒料。
    - C. 裝兩側環片，環片安裝確定後伸兩側環片輔助唧筒頂著，維持組裝時的穩定性，必要時於岩盤與環片間塞木楔以防環片移位。
    - D. 裝頂拱環片。
    - E. 全環片組好後，以噴漿機噴粒料於環片背後，用保麗龍防止粒料進入隧道，再分階段灌注背填的水泥漿。
  - (3) 於環片組裝時應注意事項：
    - A. 組裝作業空間有限且場地濕滑，各員要有施工安全意識並相互照應。
    - B. 人員就位後，非必要原因不要擅離分配崗位，應同進出。
    - C. 熟悉組裝程序及各動作開關以免操作錯誤造成危險，確實看清



周圍環境並專心操作。

- D. 組裝作業台應有護欄或扶手，保持整潔及零組件與工具放於定位。
- E. 組裝作業人員應選擇安全位置及避免不安全動作，免於自身被撞、被夾或滑落，同時也要防止工具及零組件脫落或飛落而危及下方作業人員。
- F. 環片組裝機旋轉時應注意避免勾斷油管或電管。
- G. 機件操作不當或一動作未完成就搶作下一動作會造成環片飛落，因此非組裝工作人員於組裝時必須離開組裝區。
- H. 調整環片定位期間，不要硬擠或碰及他物，以免環片破損影響品質與安全。
- I. 由指揮手一人發號指示，以免操作手無所是從。
- J. 環片組裝及運送作業區內，宜配置機電人員，以備不時之需。

5. 背填灌漿作業：

- (1) 灌漿管頭與灌漿管間應確實牢固防止鬆脫，灌漿壓力應妥善控制，不得隨意變動。
- (2) 噴粒料或灌漿完畢，現場應清理乾淨，以免滑倒；背填灌漿作業與其他作業人員之間應彼此顧及施工安全。

6. 電氣設備：

- (1) 除緊急通知控制室的按鈕外，非指定人員不得觸動電氣按鈕，於按鈕旁應掛警告標示。
- (2) 非相關電氣人員不得操作電氣設備，接地與絕緣措施應確實做好。

7. 施工作業環境：

- (1) 進入隧道作業前應實施氧氣、空氣品質及有毒氣體的測試，工作場所通風量必須符合規定。
- (2) 禁止健康不良人員進入隧道工作，參觀人員應由相關人員陪同並按引導行動。
- (3) 注意台車突然起動或停車，與通過台車保持安全距離。
- (4) 易燃物如拉圾須隨時清理，液壓油、潤滑油及柴油應依正確方法添加並清理油漬，滅火器的設置位置與使用方法要告知、訓練勞工熟悉。
- (5) 注意落石、排水通暢，當發現壁體有異狀時，不可輕忽；緊急措

施、逃生口、急救箱應明確標示與方便使用。

(6) 個人安全措施如反光背心、安全帽、手套及安全鞋等配備齊全。

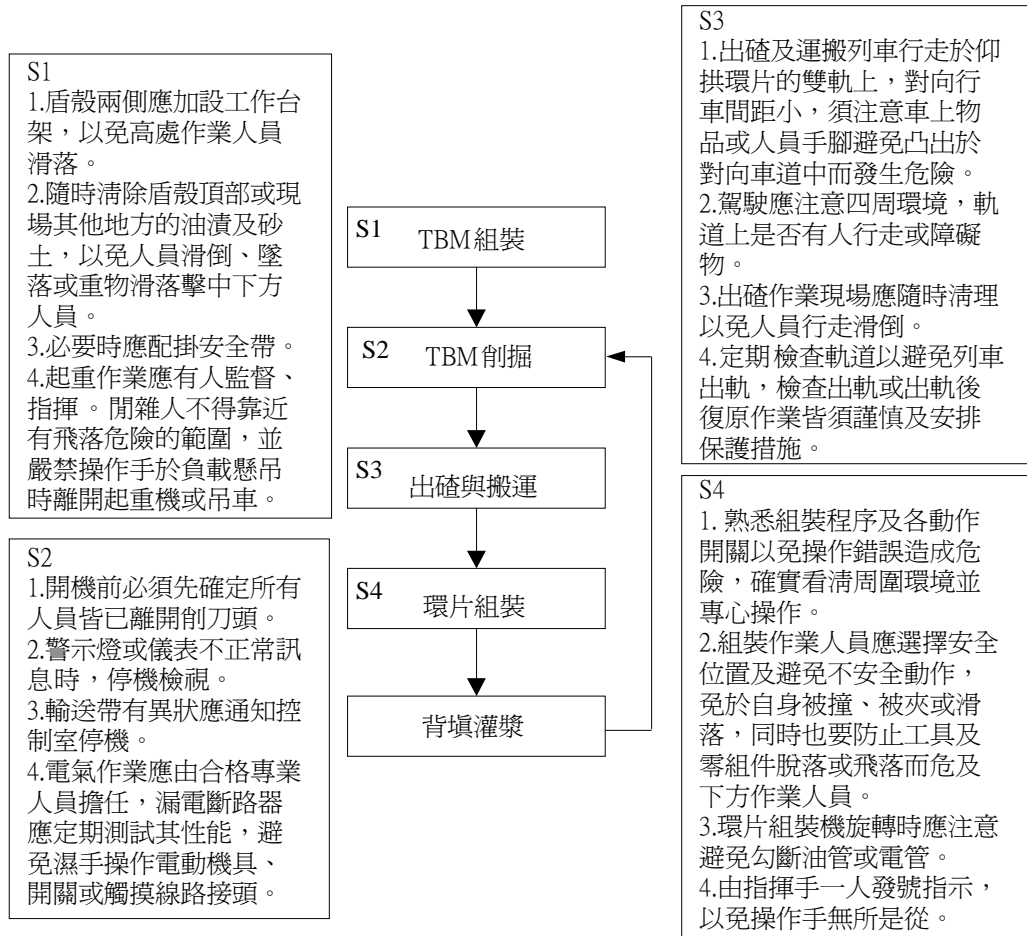


圖1 隧道鑽掘機(TBM)施工作業流程圖

### 相關法令標準

前尚未針對TBM作業場所訂定特別的勞工安全衛生法規，國內現今使用的相關法令如下：

#### 1. 營造安全衛生設施標準：

(1) 第六十四條：對於隧道、坑道開挖作業，為防止落磐、湧水等危害勞工，應採左列措施：

一 事前實施地質調查；以鑽探、試坑、震測或其他適當方法，確定開挖區之地表形狀、地層、地質、岩層變動情形及斷層與含水砂土地帶之位置地下水位之狀況等作成紀錄，並繪出詳圖。

二 依調查結果訂定合適之施工計畫，並依該計畫施工。該施工計

畫內容應明確包括開挖方法、開挖順序與時機，隧道、坑道之支撐、換氣、照明、搬運、通訊、防火及湧水處理等事項。

三 雇主應於勞工進出隧道、坑道時，予以清點或登記。

- (2) 第六十五條：對於隧道、坑道開挖作業，應就開挖現場及周圍之地表、地質及地層之狀況，採取適當措施，以防止發生落磐、湧水、高溫氣體、蒸氣、及缺氧空氣、可燃性氣體等之危害。
- (3) 第六十六條：對於隧道、坑道開挖作業，為防止落磐、湧水等危害勞工，應指派專人確認左列事項：
  - 一 於每日或四級以上地震後，隧道、坑道等內部無浮石、岩磐嚴重龜裂、含水、湧水不正常之變化等。
  - 二 施炸前各孔之裝藥適當。
  - 三 施炸後之場所及其周圍無浮石及岩磐龜裂，孔及爆落之石碴堆、出碴堆無未引爆之炸藥，施工軌道無損壞狀況。
- (4) 第六十七條：雇主依第六十五條及前條實施確認之結果，發現依第六十四條第二款訂定之施工計畫已不合適時，應即變更該施工計畫，並依變更之新施工計畫施工。
- (5) 第八十一條：對於隧道、坑道設置之支撐，應於每日或四級以上地震後，就左列事項予以確認，如有異狀時，應即採取補強或整補措施：
  - 一 構材有無損傷、變形、腐蝕、移位及脫落。
  - 二 構材緊接是否良好。
  - 三 構材之連接及交叉部份之狀況是否良好。
  - 四 腳部有無滑動或下沉。
  - 五 頂磐及側壁有無鬆動。
- (6) 第八十四條：對於隧道、坑道之電力及其它管線系統，應依左列規定：
  - 一 電力系統應與水管、電訊、通風管系統隔離。
  - 二 水、電、通訊或其他因施工需要而設置之管、線路，應沿隧道適當距離標示其用途，並應懸掛於隧道壁顯明易見之場所。
  - 三 應沿工作人員通路上方裝置安全通路燈號及停電時能自動開啓之緊急照明裝置。
  - 四 照明設施均應裝置在工作人員通路同側之隧道壁上方。
  - 五 應設置與外界隨時保持正常通訊之有線通訊設備。

- 六 隧道內行駛之動力車，應裝置閃光燈號或警報措施。
- 七 有大量湧水之虞時，應置備足夠抽水能力之設備，並置備設備失效時會發出警報之裝置。
- 八 電力系統均應予以接地(爆破開挖之隧道除外)或裝置感電防止用漏電斷路器，其佈設之主要電力線路，均應為雙層絕緣之電纜。

(7) 第八十五條：對於隧道、坑道之通路，應依左列規定：

- 一 規劃作業人員專用通路，並於車輛或軌道動力車行駛之路徑，以欄杆或其他足以防護通路安全之設施加以隔離。
- 二 除工作人員專用通路外，應避免舖設踏板，以防人員誤入危險區域。

(8) 第八十六條：對於以潛盾工法施工之隧道、坑道開挖作業，應依左列規定：

- 一 未經許可禁止在隧道內進行氣體熔接、熔斷或電焊作業。
- 二 未經許可禁止攜帶火柴、打火機等火源進入隧道。
- 三 柴油引擎以外之內燃機不得在隧道內使用。

(9) 第八十七條：雇主僱用勞工從事隧道、坑道開挖作業襯砌作業，應分別指派經訓練之作業主管，辦理左列事項：

- 一 分配及在現場監督勞工作業。
- 二 檢查器具、工具、安全帽及安全帶等，並汰除其不良品。
- 三 監督勞工使用安全帽或安全帶。

2. 營造安全衛生設施規則：第六章軌道機械(詳見本安全資料表「軌道裝置」篇。)

## 災害案例

由於TBM工法係以在機械於開挖面部進行開挖，如發生落磐、崩塌等事故，人員未直接面對開挖面地層受影響之情況較微，因此以下所舉二例均無人員傷亡之事故案例。

### 案例一

1. 災害發生經過：

為某水庫士林水力發電工程係配合水庫第二期工程辦理，包括一條長5,525公尺的壓力式頭水隧道，利用其落差引水發電。該工程的頭水隧道係採用全斷面隧道鑽掘機(TBM)進行隧道開挖及支撐工作。TBM

屬開放型，直徑4.53公尺，長度210公尺。本TBM先前曾於希臘 Water Delivery Tunnel Evinos-Marnos(1992-1995施工，隧道直徑4.2公尺，長度約8公里)實際施工，後將削刀頭稍作修改即使用於本工程，於民國85年5月開始鑽掘。

民國85年11月8日TBM開挖至STA.3k+608時因遇軟弱地質，導致盾尾左側壁岩盤坍塌並向前延伸，TBM被迫停止前進，經及時加強支撐得以控制坍塌區未再擴大，另施作前方地質探查，鑽取岩心研判。然11月14日開挖至STA.3k+596，仰拱湧出大量地下水並有隆起現象，又受周圍岩盤擠壓及盾尾後方岩盤坍塌，導致盾尾後方鋼支保變形及機頭受擠壓無法前進，經鑽設排水孔及採擴大斷面修挖，至12月9日機頭周圍擠壓岩盤清除完成並測試各項設備儀表均無受阻，於次日繼續施工。

2. 災害發生原因：遇軟弱土壤及大量湧水而受困。
3. 災害防止對策：
  - (1) 提升地質調查之準確，以預為採取對策。
  - (2) 開挖掘進中隨時注意地質變化，及時採取措施。

## 案例二

1. 災害發生經過：

某高速公路之隧道包括兩條直徑約11.74公尺、隧道中心距離約50公尺的主隧道及一條直徑約4.8公尺的導坑，主隧道西行線於民國86年12月15日發生變故，湧水量每分鐘約50立方公尺，淘空坍塌100餘公尺，TBM及其輔助系統幾乎全毀。
2. 災害發生原因：
  - (1) 遇大量湧水而落盤塌陷。
3. 災害防止對策：事故處理方式為開挖頂導坑並輔以前進固結灌漿，施工步驟如下：
  - (1) 架設H100鋼支保、佈設長2.5m岩栓及厚15公分鋼線網與噴凝土，補強加固災害區後方約70公尺的環片支撐以遏止災變持續擴大，並視需要施作排水、固結灌漿與拱形道版下方架設鋼支保。
  - (2) 受主隧道西行線災變影響，導坑300餘公尺以H100鋼支保、鋼線網與噴凝土補強環片支撐，主隧道東行線前後約150公尺架設H150鋼支保補強環片支撐。

- (3) 災變段的頂導坑施工時，先以鋼軌、支撐鋼管及前進固結灌漿予以支撐，再逐環分段環狀開挖，輪進在60公分左右，開挖後架設H200鋼支保，施作5層鋼線網及75公分噴凝土，H200鋼支保兩側加擴座，縱向則以H100鋼支保焊接，損壞的頂拱環片則破碎後拆除。
- (4) 由繞行隧道進行取心探查，發現空穴在頂導坑上方40公尺以上，取心探查孔即當作排水孔。
- (5) 隨後依次進行頂拱4m、6m、9m及12m深的固結灌漿以強化抽坍岩體，鑽設排水孔，清除抽坍料，切除輔助系統桁架，災變段洞台降挖，拆除側壁環片，延續頂導坑支撐至洞台底部。施工時避免兩側同時開挖，洞台降挖後再施作6m岩栓，4m、6m、9m及12m深的固結灌漿強化兩側岩體。
- (6) 由主隧道及繞行隧道同時進行災變區段的固結灌漿及空穴回填灌漿，最後清理仰拱的抽坍料。



照片1 隧道鑽掘機(TBM)組裝  
(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)



照片2 隧道鑽掘機(TBM)切削頭組裝  
(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)



照片3 TBM施工之環片吊裝裝運作業  
(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)



照片4 TBM施工之仰拱環片組裝作業

(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)



照片5 TBM施工之物料裝運作業

(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)